
DataMet

Gestione e Produzione Dati della Rete Radar Nazionale
Anno 2018

Indice

INTRODUZIONE.....	3
1 PRE-ELABORAZIONE DEI VOLUMI.....	4
1.1 PREMESSA.....	4
1.2 QUALITÀ.....	6
1.2.1 Echi fissi.....	6
1.2.2 Occlusione.....	8
1.2.3 Interferenze casuali.....	12
1.2.4 Noise.....	13
1.2.5 Bright Band.....	14
1.3 CORREZIONI.....	15
1.3.1 Declutter.....	15
1.3.2 Quality Check.....	15
1.3.3 Velocity Check.....	16
1.3.4 Attenuazione.....	16
1.4 CAMPIONAMENTO.....	18
1.4.1 K_{DP}	19
1.5 DATI AUSILIARI.....	21
1.5.1 Mappe di Clutter.....	21
1.5.2 Mappe di Occorrenze.....	22
1.5.3 Profilo medio.....	23
2 PRODOTTI DI BASE.....	25
2.1 PREMESSA.....	25
2.2 VMI.....	25
2.3 VIL.....	26
2.4 ETM.....	26
2.5 POH.....	26
2.6 CAPPI.....	26
3 STIMA DELLA PRECIPITAZIONE.....	28
3.1 PREMESSA.....	28
3.2 SRI.....	28
3.3 QUALITÀ.....	29
3.4 CORREZIONI.....	30
3.4.1 VPR.....	30
3.4.2 K_{DP}	31
3.5 ADJUSTMENT.....	32
4 VERIFICA DELLA STIMA.....	34
4.1 PREMESSA.....	34
4.2 RAINGAUGES.....	34
4.3 RADARGAUGES.....	35
5 HEAVY RAIN.....	40
5.1 PREMESSA.....	40
5.2 SEVERITY INDEX.....	40
5.2.1 HRI (Heavy Rain Index).....	40
5.2.2 SSI (Severity Storm Index).....	41
5.3 HEAVY RAIN WARNING.....	42
5.4 HEAVY RAIN DETECTION.....	43
5.5 HEAVY RAIN FORECAST.....	43

INTRODUZIONE

Lo scopo del presente documento è quello di descrivere il modello teorico e gli algoritmi implementati dal sistema *DataMet* che sono alla base delle attività di elaborazione dati della Rete Radar del Dipartimento della Protezione Civile con particolare riguardo verso le tecniche di stima delle precipitazioni applicate al Mosaico Nazionale.

DataMet consente la configurazione di diverse Catene Operative di elaborazione.

La Catena Operativa principale è denominata **RADAR** e si compone di 2 fasi:

- la prima fase viene eseguita presso ogni nodo periferico
- la seconda fase è centralizzata presso il Centro Funzionale di Roma.

Tutti i Nodi della Rete contribuiscono in maniera sincronizzata alla produzione del Mosaico Nazionale fornendo i Prodotti di primo livello che sono propedeutici per la seconda fase.

Il documento ha la seguente struttura:

- Il capitolo 1 contiene la descrizione delle schedule di pre-elaborazione dei Volumi grezzi
- Il capitolo 2 contiene una breve descrizione dei principali prodotti di base
- Il capitolo 3 contiene la descrizione delle tecniche implementate per la stima della precipitazione
- Il capitolo 4 contiene la descrizione delle tecniche di verifica della stima
- Il capitolo 5 contiene la descrizione delle modalità di utilizzo dei prodotti di base nell'analisi degli eventi estremi

1 PRE-ELABORAZIONE DEI VOLUMI

1.1 Premessa

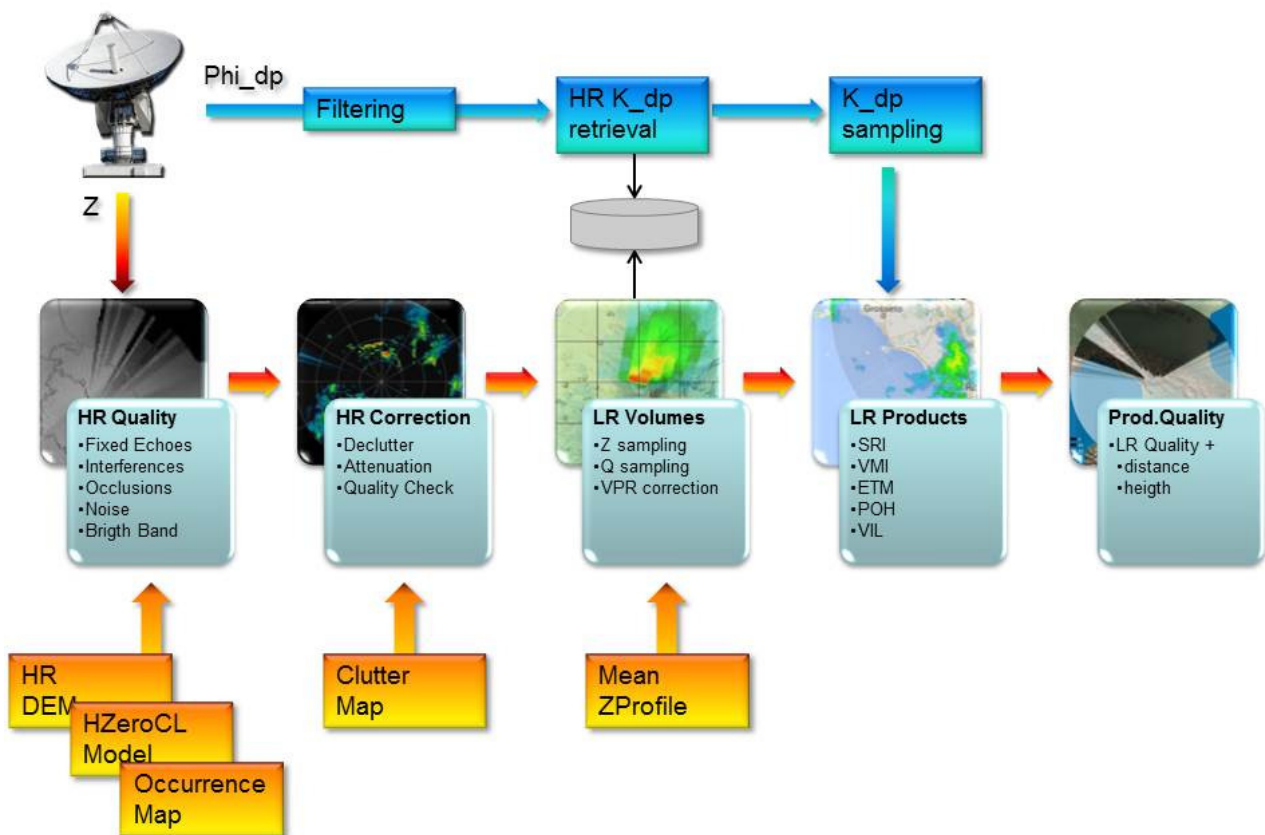
La catena operativa denominata RADAR è la catena principale per la generazione dei Prodotti Radar.

Tale catena ha una frequenza di 5 minuti per ogni sito radar, indipendentemente dalle strategie di scansione previste dai vari enti fornitori dei dati.

Lo schema seguente sintetizza la sequenza logica e il flusso dati alla base del processo elaborativo che verrà approfondito nei paragrafi successivi:

Vengono indicati con HR i volumi polari grezzi (e/o i prodotti) ad alta risoluzione.

Vengono indicati con LR i volumi polari campionati (e/o i prodotti) a bassa risoluzione (generalmente 1000 m).



Il processo di generazione dei prodotti radar a partire da un singolo volume polare si sviluppa attraverso la configurazione di una serie di schedule di elaborazione.

L'obiettivo è quello di ottimizzare il processo di elaborazione in modo da condividere la serie di operazioni standard applicabili al volume polare prima di attivare gli algoritmi propri di ciascun prodotto.

Oltre ad impostare le classiche attività di produzione, è pertanto opportuno configurare una o più schedule di pre-elaborazione dei volumi. In tali schedule è possibile aggiungere un insieme di procedure opzionali che hanno il compito di quantificare la presenza di anomalie, filtrare, correggere e/o campionare i volumi.

Alcune procedure sono dedicate alla esecuzione di una serie di Test di Qualità; altre sono dedicate alle fasi di correzione e campionamento.

I dati grezzi ad alta risoluzione non vengono mai sovrascritti. I valori di 'qualità', i volumi corretti ed eventualmente campionati possono essere salvati.

Nei paragrafi successivi vengono elencate le possibili procedure schedulabili, tenendo conto che ogni singola procedura (implementata in linguaggio IDL) è definita esternamente al sistema ed è pertanto aggiornabile, integrabile e/o sostituibile in qualsiasi momento da parte dell'utente.

Attualmente sono attive 3 schedule di pre-elaborazione dei Volumi HR denominate rispettivamente PRE, PRE_2 e RAW.

PRE è dedicata alla esecuzione di una serie di Test di Qualità;

PRE_2 è dedicata ai Radar di tipo polarimetrico;

RAW è dedicata alle fasi di correzione e campionamento.

L'ordine di esecuzione delle schedule dipende dal valore di priorità contenuto nei file schedule.txt. Al termine dell'esecuzione di tali schedule si ha a disposizione un nuovo insieme di dati polari completo di:

- un Volume di Qualità ad alta risoluzione
- un Volume di K_{DP} ad alta risoluzione
- un Volume di Riflettività Corretta (CZ) a bassa risoluzione (1000 mt, 1 deg)
- un Volume di Qualità a bassa risoluzione
- un Volume di Velocità doppler (V) a bassa risoluzione

Nei casi in cui la frequenza di scansione non soddisfi i 5 minuti di frequenza, i volumi a bassa risoluzione vengono duplicati. Inoltre, si sottolinea che i dati grezzi ad alta risoluzione non vengono mai sovrascritti (a parte i casi della Qualità e della K_{DP} che vengono generati ex-novo).

1.2 Qualità

Alcuni aspetti relativi alla validazione dei dati radar vengono affrontati introducendo il concetto di qualità del dato.

Ad ogni singola cella polare si attribuisce un valore di qualità; il volume di Qualità ad alta risoluzione mantiene tutte le caratteristiche di copertura, risoluzione ed elevazione dei dati grezzi.

Il Volume di Qualità denominato Quality si riferisce alle grandezze non polarimetriche.

Il Volume di Qualità denominato P_Quality si riferisce alle grandezze polarimetriche.

In generale, il valore di qualità si intende espresso in percentuale: ossia un valore reale compreso tra 0 e 100 codificato in 8 bit (un valore di qualità pari a 0 indica qualità nulla, 100 indica qualità massima).

L'attribuzione del valore di qualità dipende dall'esecuzione di una serie di *Test* indipendenti tra loro.

Ogni procedura di test è devoluta alla verifica di una particolare condizione. In funzione del risultato del test la procedura stessa aggiornerà il valore corrente di qualità.

Un test può essere immaginato come un criterio per la determinazione della probabilità che una singola cella polare non sia affetta da errore.

In generale, il valore di qualità risultante è dato dal prodotto delle probabilità ottenute da ogni singolo test.

Poiché ogni test T_i può avere una valenza diversa, ad ognuno di essi viene associato un peso Wt_i (compreso tra 0 e 1).

Una volta determinato il risultato di un test e assumendo che la qualità iniziale sia pari a 100, la qualità del volume viene aggiornata mediante la seguente relazione:

$$\text{Quality} = \text{Quality} * [T_i * Wt_i + (1 - Wt_i)]$$

1.2.1 Echi fissi

L'idea alla base di tale Test è che una cella polare distorta da un eco fisso ha una qualità inferiore rispetto alle altre, indipendentemente dal fatto che tale eco venga corretto o filtrato.

Il Test di Clutter prevede l'aggiornamento del valore di qualità tenendo conto dei valori contenuti in una mappa stagionale delle Occorrenze relativa alla riflettività Z.

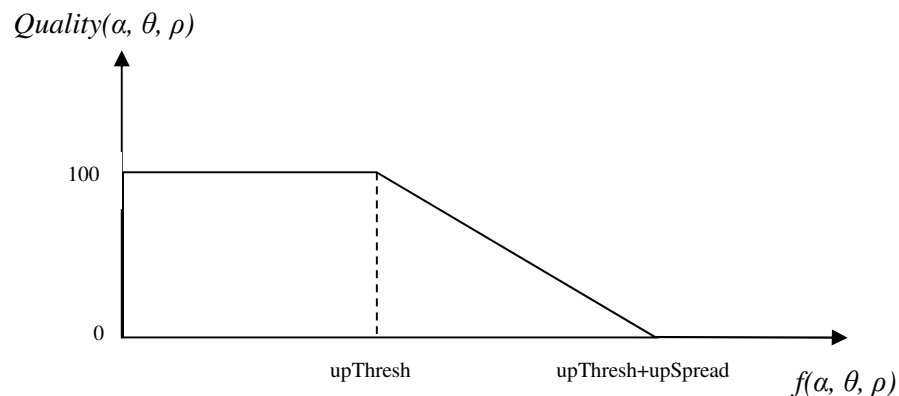
La mappa delle occorrenze fornisce, per una generica cella polare $P_{\alpha, \theta, \rho}$, la distribuzione delle frequenze dei valori al di sopra di una certa soglia (per la descrizione della procedura di aggiornamento di tale statistica si rimanda ai paragrafi seguenti).

Da notare che, utilizzando una soglia di riferimento non troppo alta, la mappa delle occorrenze fornisce anche un ottimo indicatore sulla posizione e intensità delle interferenze costanti (WLAN).

In pratica, valori di frequenza mediamente alti (superiore ad esempio al 40%) corrispondono ad una alta probabilità che una cella sia affetta da clutter o eco fisso di qualsiasi natura.

Il risultato del Test dipende da un intervallo sulla frequenza relativa $f(\alpha, \theta, \rho)$:
[upThresh, upThresh+upSpread]

La qualità risultante varia linearmente tra 100 e 0 in base al posizionamento della frequenza tra tali 2 soglie.



Nel valutare la qualità di una cella affetta da eco fisso è opportuno sottolineare ulteriori 2 aspetti: l'intensità di tale eco e la possibilità di discriminare un eco meteo.

E' evidente che quanto più il segnale fisso è intenso tanto più diminuisce l'eventuale contributo dell'eco meteo. Al contrario, un eco affetto da una lieve interferenza, può ancora essere utile alla stima della precipitazione. Per questo motivo, prima di calcolare il valore del test, la frequenza f viene corretta tenendo conto della mappa di clutter Z :

$$f'(\alpha, \theta, \rho) = f(\alpha, \theta, \rho) * C(\alpha, \theta, \rho)$$

dove:

$$C(\alpha, \theta, \rho) = Z(\alpha, \theta, \rho) / 50$$

con:

$$C \in [0.5, 1.0]$$

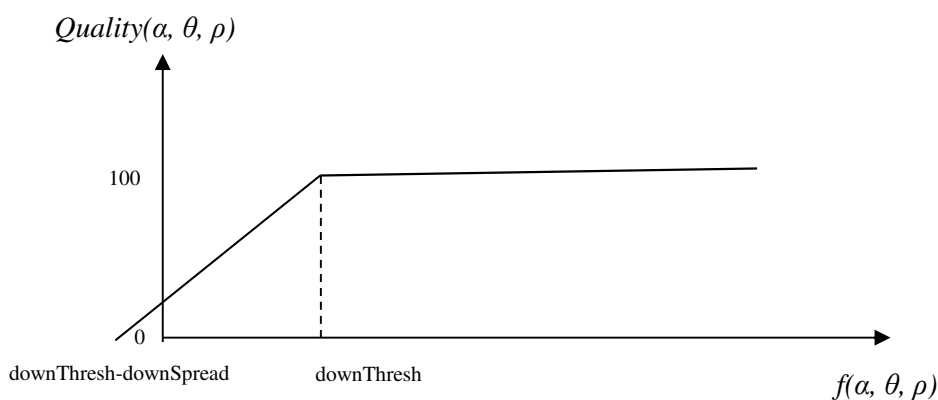
1.2.2 Occlusione

Analogamente al test degli echi fissi, il Test che calcola la probabilità di Occlusione si basa sulla Mappa di Occorrenze stagionale.

Un basso valore di frequenza relativa (inferiore allo 0.5%) indica una alta probabilità che il fascio sia occluso.

Il risultato si basa su 2 parametri che individuano un intervallo di frequenze:

[downThresh-downSpread, downThresh]



Un'unica procedura (VisibilityMapTest) verifica le due condizioni precedenti (echi fissi e occlusione) per aggiornare la Qualità in funzione dei seguenti parametri:

The screenshot shows a dialog box titled "parameters.txt" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains several input fields for parameters:

Soglia sup. (%)	20
Spread sup. (%)	40
Soglia inf. (%)	0.4
Spread inf. (%)	0.6
Stagione	winter
Peso	0.8

At the bottom of the dialog, there are three buttons: "File", "Alt.Par.", and "Ok".

Il peso di tale test è pari a 0.8.

Ciò significa che laddove una cella ha una probabilità massima di essere affetta da clutter di terra, da interferenza o da occlusione, la sua qualità diventa 20% (della qualità corrente).

Il test di Visibilità Effettiva può essere integrato con il test di Visibilità Teorica (attualmente disabilitato).

Quest'ultimo prevede l'aggiornamento del valore di qualità corrente tenendo conto della occlusione 'attesa' del fascio radar utilizzando la mappa digitale (DEM) del territorio italiano.

Il DEM correntemente in uso ha una risoluzione orizzontale di circa 250 mt e verticale di circa 16 mt. La percentuale di occlusione del fascio viene valutata per ogni range bin e si tratta di un valore non decrescente in funzione della distanza.

Il coefficiente di visibilità c_v viene calcolato tenendo conto esclusivamente della differenza tra la quota superiore del fascio e la quota desunta dal DEM, rapportata all'ampiezza del fascio:

$$c_v = [(h + w/2) - (dem + K)] / w$$

essendo:

h = quota del centro della cella polare

w = ampiezza verticale in metri della cella polare

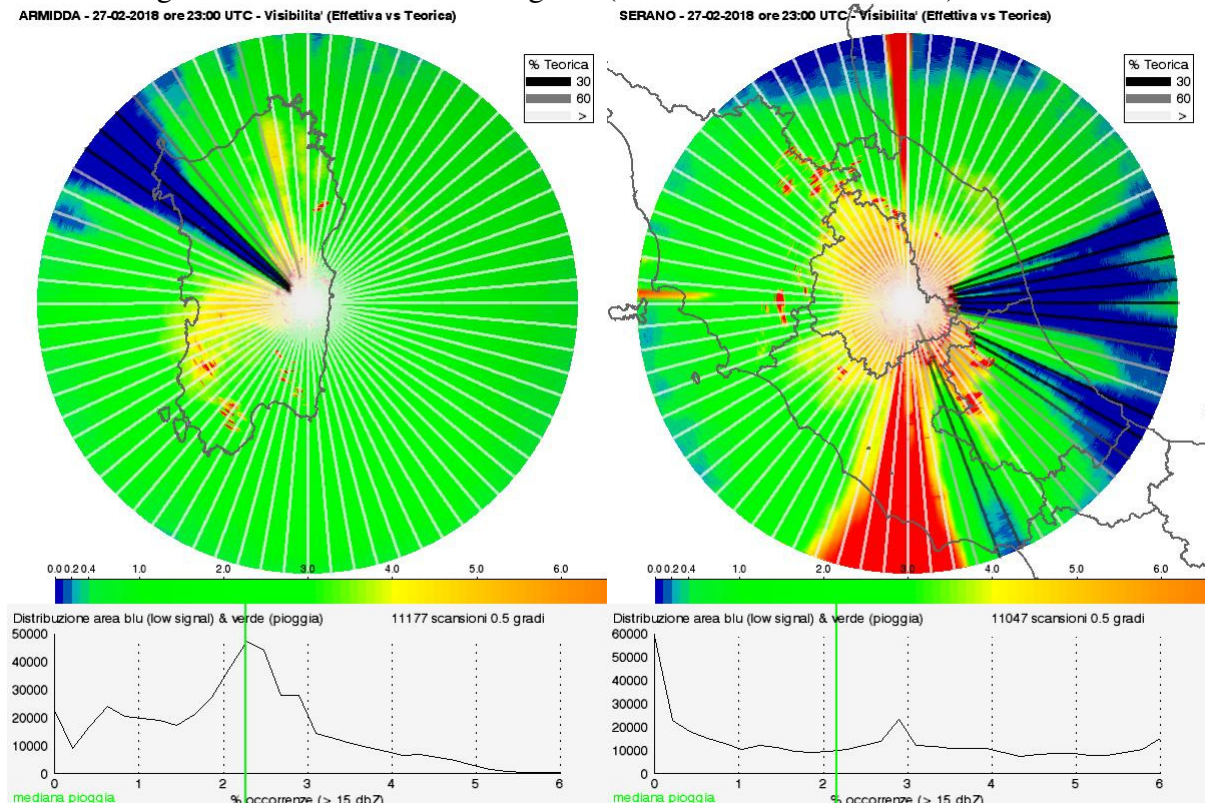
dem = quota del territorio in corrispondenza della cella polare.

K = valore costante di tolleranza definito dall'utente

Tale coefficiente di visibilità verrà limitato ad assumere un valore tra 0 e 1 e a non crescere in distanza. Viene poi utilizzato come coefficiente moltiplicativo al fine di aggiornare il valore di qualità corrente.

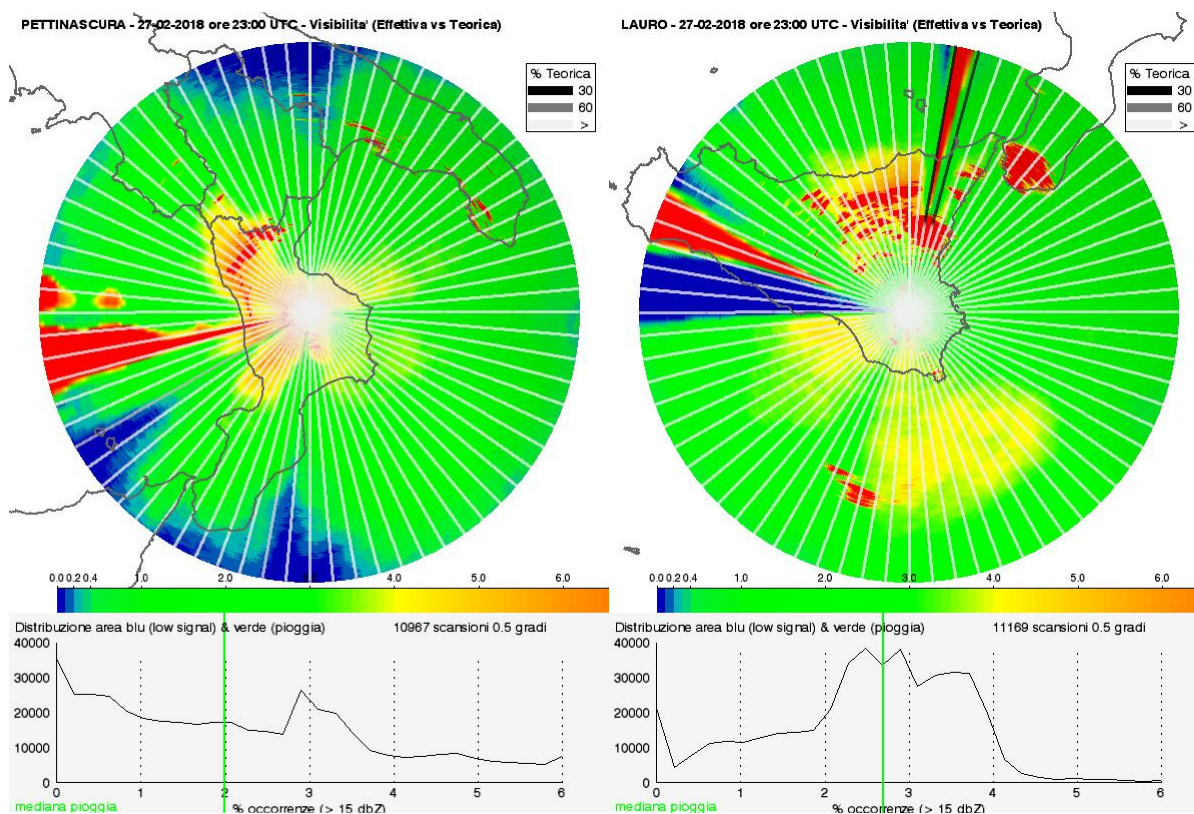
Le 2 immagini seguenti rivelano un buon accordo tra la Visibilità Attesa e quella Effettiva (raggi neri su area blu).

Da notare che l'effetto di un fascio parzialmente occluso, si può verificare anche al alta quota, come conseguenza della riduzione del segnale (aree blu non concentriche).

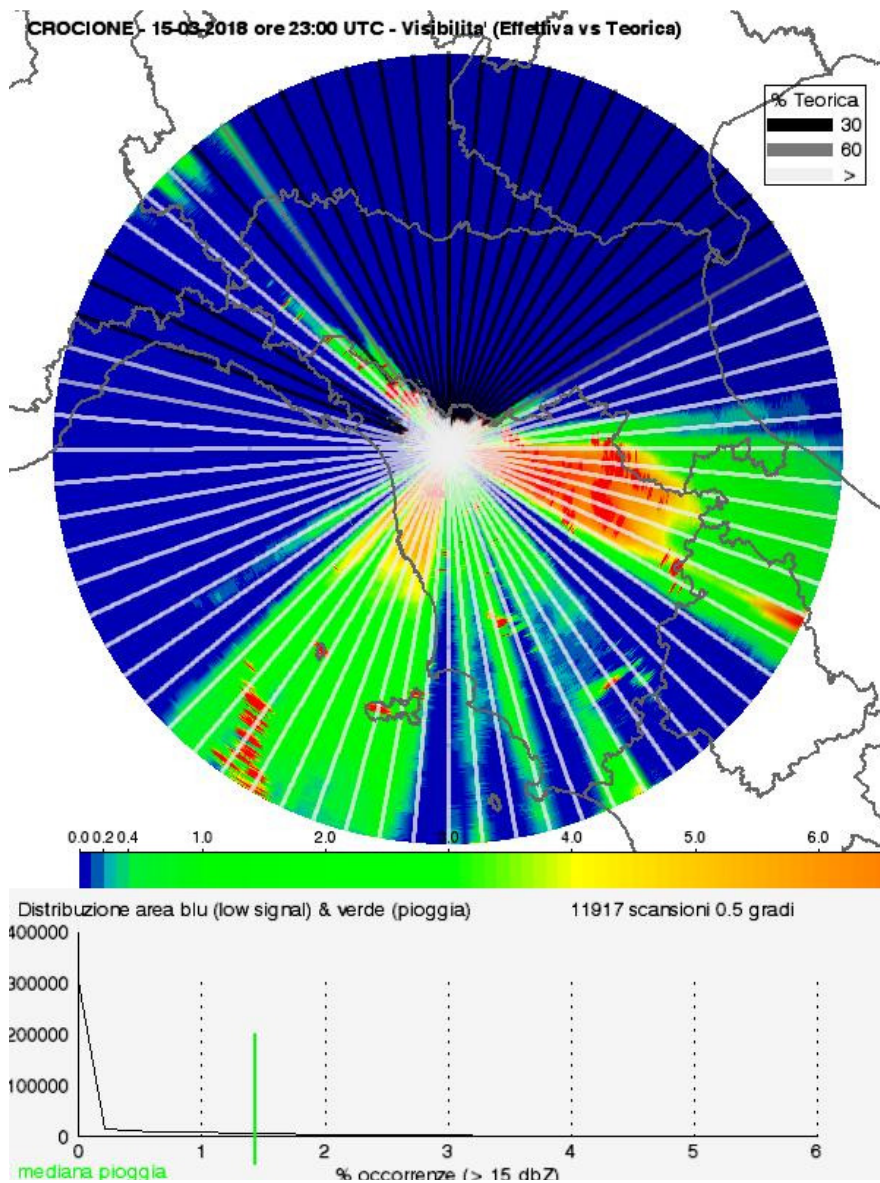


Le 2 immagini seguenti dimostrano invece che l'occlusione/visibilità attesa non sempre coincide con quella effettiva (raggi bianchi su area blu); ciò dipende da diversi fattori tra cui:

- accuratezza/risoluzione del DEM
- precisione della quota radar
- ostacoli artificiali non desumibili dalla quota del territorio.



L'immagine seguente evidenzia che per il sito di CROCIONE la visibilità effettiva, a 0.5 gradi di elevazione, approssima bene quella teorica solo verso Nord. Nelle altre direzioni è in realtà molto diversa da quella teorica:



1.2.3 Interferenze casuali

Oltre alle interferenze sistematiche, a volte un fascio radar può essere affetto da interferenze di carattere casuale. Per questo motivo il test cosiddetto SpikeTest analizza eventuali disturbi radiali non rilevabili dalle mappe di occorrenza.

L'algoritmo si basa sull'analisi della distribuzione dei valori medi di riflettività calcolati su ogni beam. L'idea alla base del test deriva dalla considerazione che i beam affetti da *spike* presentano un elevato gradiente destro e sinistro in maniera simmetrica e siano caratterizzati da una ampiezza azimutale piuttosto ridotta.

Allo scopo di individuare tali zone viene calcolato un indice che per ogni fascio radar, misura lo scostamento quadratico medio tra il valor medio di riflettività del beam stesso e i valori medi in un intorno (n beams) di esso:

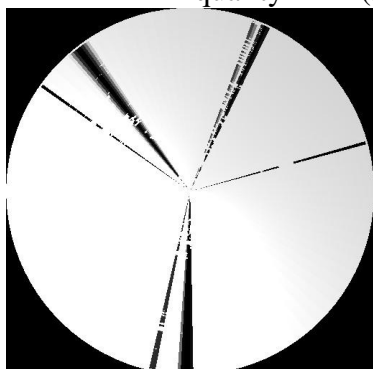
$$\text{spike}(\alpha) = \text{SQRT}(\text{SUM}(\text{left}(\alpha,i) * \text{right}(\alpha,i)) / n)$$

Dove $\text{left}(\alpha,i)$ e $\text{right}(\alpha,i)$ indicano rispettivamente il gradiente medio dell'azimut α rispetto all'azimut $\alpha-i$ e $\alpha+i$.

Per default viene utilizzato un intorno di 8+8 beam. I gradienti negativi non vengono considerati: in particolare, i gradienti minori di 1 vengono posti pari ad 1.

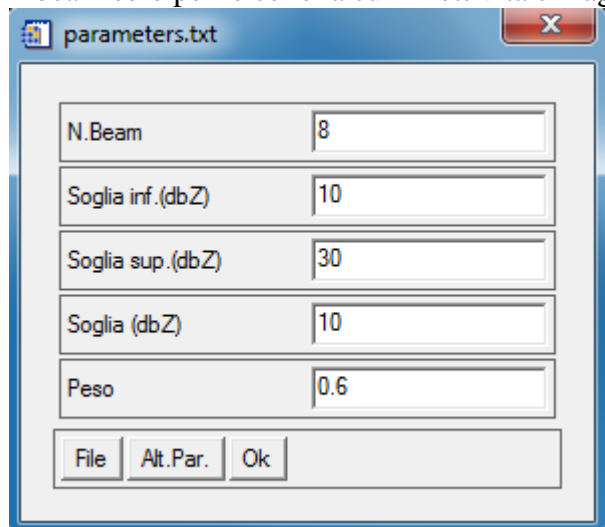
Per ricavarne un indice di qualità, il test viene normalizzato tra 0 e 1. A tale scopo è necessario definire due soglie: `up_thresh` e `down_thresh`.

$$\text{quality} = 1 - (\text{spike} - \text{down_thresh}) / (\text{up_thresh} - \text{down_thresh})$$



Un valore molto minore di 1 indica un'alta probabilità che il fascio sia affetto da interferenza.

Dato il valore del test, la qualità corrente del volume verrà aggiornata in maniera uniforme su tutto il beam solo per le celle la cui riflettività è maggiore della soglia impostata: 10 dbZ.



1.2.4 Noise

Tale Test ha lo scopo di verificare se la variabilità in un piccolo intorno di ogni cella polare è tale da presumere la presenza di rumore di fondo.

Generalmente, un alto valore di variabilità (in particolare su alcune grandezze) è associato alla presenza di clutter; di conseguenza il *Test della Tessitura* è uno dei test utilizzati per calcolare la Qualità dei volumi di Z e PHIDP.

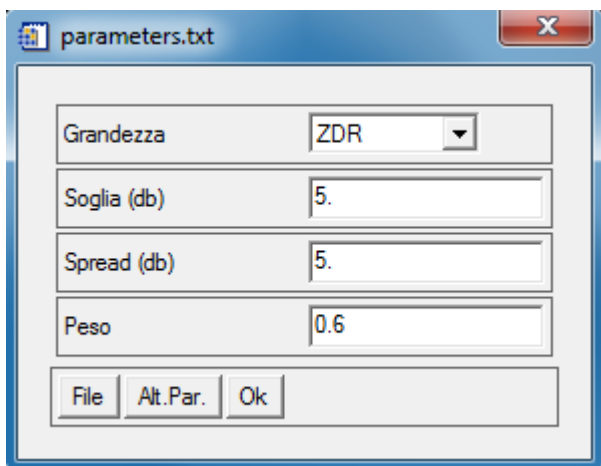
Per quanto riguarda la qualità della riflettività viene utilizzata la tessitura della Zdr; la qualità delle grandezze polarimetriche viene aggiornata in base alla tessitura della PHIDP.

Considerando ogni singolo PPI come una matrice regolare, il valore di tessitura t associato ad ogni singola cella non è altro che lo scarto quadratico medio dei valori contenuti in una finestra 5x5 rispetto al valore centrale.

L'indice di qualità QT dovuto alla tessitura t è pertanto ricavato dalla normalizzazione di t mediante la seguente funzione:

$$\begin{array}{lll} QT = 1 & \text{se } t < \text{thresh} & \text{(No Texture)} \\ QT = 0 & \text{se } t > \text{thresh} + \text{spread} & \text{(High Texture)} \\ QT = (\text{thresh} + \text{spread} - t) / \text{spread} & \text{altrimenti} & \end{array}$$

Come al solito, l'indice QT viene corretto per tener conto del peso del Test.



Per la PHIDP sono utilizzati i seguenti coefficienti:

thresh = 50

spread = 10

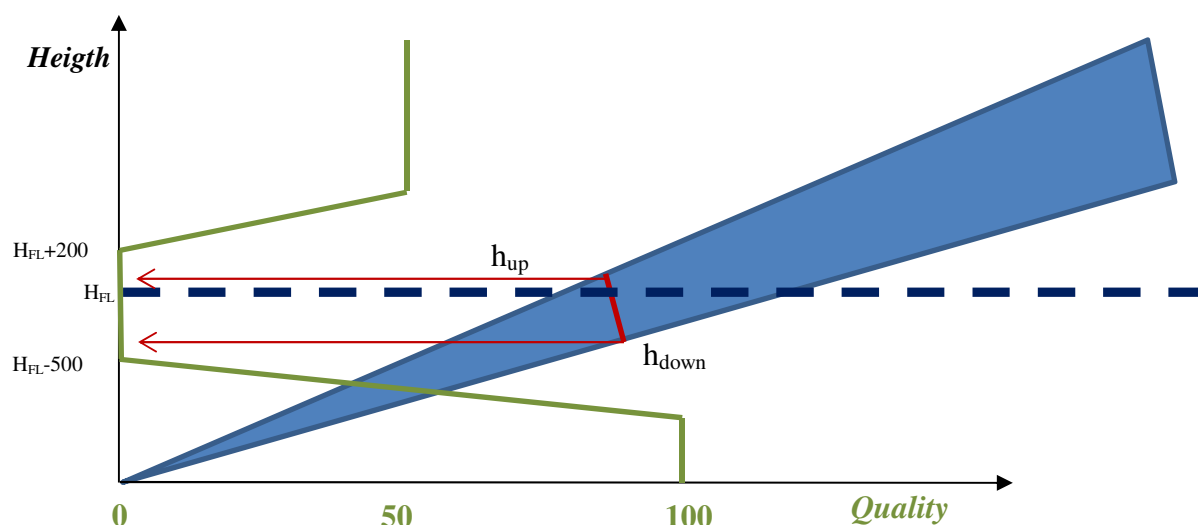
weight = 1

1.2.5 Bright Band

Sappiamo che in prossimità del 'Freezing Level' si osserva la cosiddetta Bright Band che generalmente si manifesta con un evidente incremento di riflettività:

la strategia adottata è stata quella di non correggere il dato di riflettività, ma di ridurre la qualità dei dati affetti da Bright Band.

Lo schema adottato per calcolare la qualità deriva da Friedrich et al. (2006) che utilizza una funzione $Q=f(h_{up},h_{down})$ (dove h_{up} e h_{down} sono la quota superiore e inferiore del fascio radar) simile a quella illustrata nella figura seguente:



- La qualità è nulla laddove la quota inferiore e la quota superiore cadono entrambe all'interno di una fascia compresa tra $H_{FL}-500$ e $H_{FL}+200$.
- La qualità delle celle al di sopra del freezing level tende ad aumentare fino al 50%.
- La qualità delle celle al di sotto del freezing level tende ad aumentare fino al 100%.
- La qualità è massima (100%) per le celle al di sotto del freezing level per cui il fascio radar non interseca la suddetta fascia in quota.

Il test prevede l'utilizzo dei dati desunti da modello: HZEROCL. In particolare, le previsioni a 3, 6, 9, 12 ore.

A tale scopo, i dati relativi alla Catena Operativa denominata MODELS sono sempre sincronizzati su ogni server periferico.

Il peso Wt di tale Test è pari 0.2.

1.3 Correzioni

In questo paragrafo vengono analizzate le uniche procedure che alterano il contenuto dei dati grezzi ad alta risoluzione.

Si sottolinea che tale alterazione avviene esclusivamente in memoria e non su disco: pertanto, ha valore per la sola durata della elaborazione corrente.

L'obiettivo delle procedure seguenti è quello di ottenere un volume il più possibile filtrato da echi non meteorologici e correggere eventuali attenuazioni del segnale radar.

A differenza delle procedure che aggiornano la qualità, le procedure di correzione possono dipendere dall'ordine di esecuzione: il valore di priorità è definito nei file process.txt.

1.3.1 Declutter

Per declutter si intende una procedura che riduca gli effetti dovuti agli echi fissi.

Tale procedura utilizza una mappa statistica di Clutter (Z) che viene regolarmente aggiornata secondo le modalità descritte in uno dei paragrafi successivi.

L'idea alla base di questa procedura non è solo quella di annullare le celle affette da un intenso eco fisso (terreno), ma allo stesso tempo quella di sottrarre echi costanti più o meno deboli (interferenze WLAN) che interagiscono con l'eco meteo.

In quest'ultimo caso, nonostante il valore di riflettività sia chiaramente distorto, è ancora possibile utilizzare la componente residua per stimare la precipitazione in atto. L'analisi avviene su tutto il volume di riflettività.

Per tutte le elevazioni θ per cui esiste la statistica Z_θ corrispondente (e dopo aver riportato i valori su scala lineare), il valore corretto CZ_θ è dato da:

$$CZ_\theta = Z_\theta - Z_\theta$$

1.3.2 Quality Check

La procedura che effettua il controllo di qualità prevede 2 possibili alternative.

Quella attualmente in uso ha l'unico scopo di annullare tutte le celle polari la cui qualità risulta essere inferiore ad una certa soglia. Di conseguenza anche il valore di qualità stesso viene annullato.

E' importante sottolineare che la soglia deve essere opportunamente tarata in funzione del numero e del peso dei Test di Qualità attivi.

Attualmente viene utilizzata una soglia piuttosto bassa (20%) al fine di avere una ragionevole certezza che il dato annullato sia effettivamente poco utile ai fini della stima della precipitazione. Allo stesso modo, viene annullata la qualità laddove il valore di riflettività risulta essere nullo (ad esempio come conseguenza della procedura di declutter).

La tecnica alternativa (attualmente non utilizzata) consente invece di correggere ogni singolo dato analizzando due elevazioni successive. Data la natura del problema, la correzione di un generico

volume V (qualsiasi grandezza) avviene partendo dall'elevazione più alta (quella meno affetta da clutter) procedendo verso le elevazioni più basse, utilizzando di volta in volta i dati già corretti. Indicando con q_i la matrice di qualità per l'elevazione Θ_i , i volumi corretti $V_c(\Theta_i)$ saranno calcolati mediante la relazione seguente:

$$V_c(\Theta_i) = q_i * V(\Theta_i) + (1-q_i) * V_c(\Theta_{i+1})$$

1.3.3 Velocity Check

Tale correzione è applicata solo a quei siti particolarmente soggetti a fenomeni di interferenze casuali e clutter residuo. In particolare, i seguenti siti (per motivi diversi) non consentono una perfetta gestione delle statistiche ausiliarie:

- siti ENAV (non si dispone dei dati di riflettività Uncorrected)
- siti ARPAER (strategie di scansione variabili)
- sito di FOSSALON (in caso di pioggia cambia modalità di scansione)

In tali casi le procedure standard a volte non sono sufficienti ad eliminare tutte le sorgenti di rumore.

Di conseguenza, come ulteriore verifica, i dati nulli del canale doppler vengono utilizzati per filtrare riflettività probabilmente anomale.

1.3.4 Attenuazione

Il problema dell'attenuazione del segnale durante un evento precipitativo è affrontato in due diverse modalità in funzione della tipologia radar (Singola o Doppia polarizzazione).

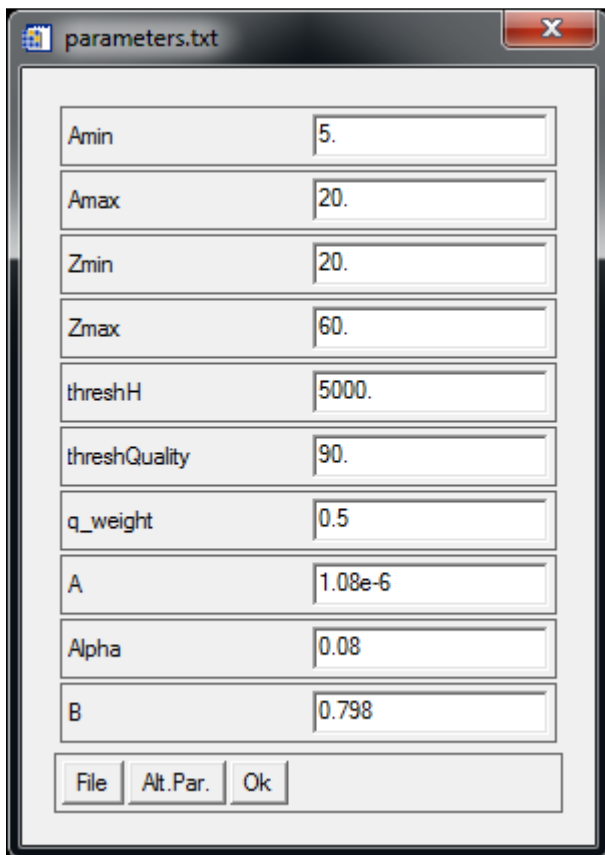
Nel caso di radar a singola polarizzazione l'attenuazione non viene corretta, ma viene ridotta la qualità dei dati presumibilmente affetti da attenuazione.

Nel caso di radar a doppia polarizzazione l'attenuazione specifica A_h [dB km⁻¹], associata alla riflettività Z, è calcolata in base al metodo ZPHI, attraverso la relazione seguente:

$$A_h(r) = \frac{[Z_h'(r)]^b \left[10^{0.1(b\alpha)\Delta\phi_{dp}(R0:Rm)} - 1 \right]}{I(R0:Rm) + \left[10^{0.1(b\alpha)\Delta\phi_{dp}(R0:Rm)} - 1 \right] I(R0:Rm)}$$

Per il significato dei simboli si rimanda alla specifica bibliografia (Testud, 2000). Tutti i coefficienti presenti nella relazione sono configurabili dall'esterno.

L'attenuazione viene calcolata solo al disotto del Freezing Level e laddove la qualità sia maggiore di threshQ; l'attenuazione stessa viene poi utilizzata come incremento al valore corrente di riflettività.



Nei casi di radar a singola polarizzazione l'attenuazione viene calcolata come funzione di potenza (con coefficienti A e B) sulla riflettività cumulata lungo il fascio, con $Z \in [Zmin, Zmax]$.

In entrambi i casi (singola e doppia polarizzazione) la qualità del volume viene ridotta in funzione dell'attenuazione:

$$Q = (Ah - Amin) / (Amax - Amin)$$

Sui siti polarimetrici la riduzione ha un peso dimezzato ($q_wt=0.5$).

1.4 Campionamento

Il Campionamento è una delle procedure fondamentali del sistema in quanto tutti i prodotti di base fanno riferimento ai volumi campionati e corretti.

Inoltre, tutti i volumi campionati relativi ai siti DPC, vengono trasferiti a Roma per essere successivamente convertiti in formato Odim e resi pubblici presso il sito ftp.protezionecivile.it.

La procedura attuale (schedula RAW/ShareVolume) genera un'unica matrice tridimensionale di dati con le seguenti caratteristiche:

- risoluzione in azimuth: 1 grado
- risoluzione in range: 1000 mt

Da notare che, con frequenza di 5 minuti, vengono campionate esclusivamente le grandezze CZ e Quality.

La grandezza V viene campionata ogni 10 minuti (schedula RADAR/POST) coerentemente con i tempi di distribuzione dei volumi.

Il percorso che contiene le grandezze campionate è il seguente:

```
/data1/RADAR/RAW/(anno)/(mese)/(giorno)/(ora)/(sito)/(grandezza)
```

Per quanto riguarda il formato dati, rispetto ai dati grezzi sussistono 2 differenze fondamentali:

- tutti i PPI sono contenuti in un'unica matrice 3D.
- i volumi campionati prevedono un passo azimutale regolare (1 grado) e uno start a 0 gradi.

Nel passaggio da una risoluzione originale (polare e/o azimutale) ad una risoluzione campionata occorre tenere conto di un certo numero di celle al fine di produrre una teorica cella campione.

Tale passaggio può avvenire utilizzando criteri diversi; la procedura attualmente utilizzata prevede la selezione del valore mediano in range e la selezione del grado più vicino in azimuth.

Per alcuni siti (BRIC e SETTEPANI) il campionamento esclude le scansioni a elevazione negativa, per altri (MACAION e FOSSALON) vengono escluse le scansioni a zero gradi.

Per i siti (CAPOFIUME e GATTATICO) le cui scansioni hanno una copertura variabile, il volume campionato viene ricondotto ad una copertura omogenea (120 km).

Presso ogni nodo periferico DPC (e a scopo sperimentale anche presso il server ENAV) è attivo un processo crontab (sendvolume) che trasferisce i volumi in formato Datamet verso Roma.

Sul server datamet2 di Roma è invece attivo un processo crontab (distributevolume) che converte il formato di tutti i volumi ricevuti (in /data1/RADAR/RAW/.../...) e li invia al sito ftp.

1.4.1 K_{DP}

Per quanto riguarda il campionamento dei valori di Specific Differential Phase (K_{DP}) la strategia utilizzata prevede la ricostruzione del volume K a partire dal volume PHI ad alta risoluzione, preventivamente filtrato con uno dei filtri previsti (attualmente filtro mediano 3x3).

La generazione della K_{DP} si basa su un algoritmo iterativo di ricostruzione delle due grandezze (Vulpiani et al. 2012).

L'algoritmo prevede la definizione di una 'finestra mobile' lungo il fascio radar: la finestra deve essere tale da contenere un numero di range bins statisticamente significativo e tale da poter assumere una precipitazione omogenea all'interno.

Il valore di K si ottiene come derivata della PHI_{DP} : gradiente tra i valori estremi di ogni finestra.

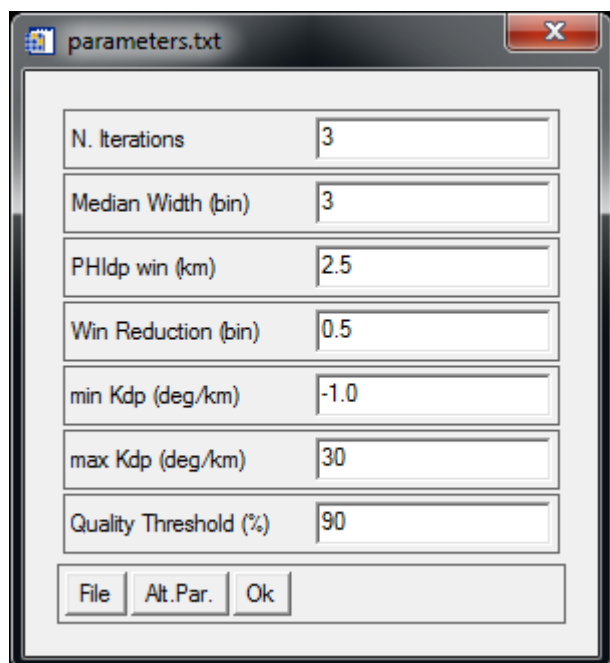
A sua volta, la PHI_{DP} è calcolata filtrando e reintegrando la K_{DP} .

Attualmente la procedura è iterata 3 volte utilizzando una finestra mobile di 2.5 km (semiampiezza).

Nel derivare la grandezza PHI_{DP} , vengono esclusi i dati con qualità ($P_quality$) inferiore al 50%.

Nell'integrare la grandezza K_{DP} , vengono esclusi i valori inferiori a -1 e superiori a 30 (deg/km).

Inoltre, per ogni raggio in cui il valore massimo di fase supera i 50 gradi, viene considerata una finestra più piccola (ridotta del 50%).

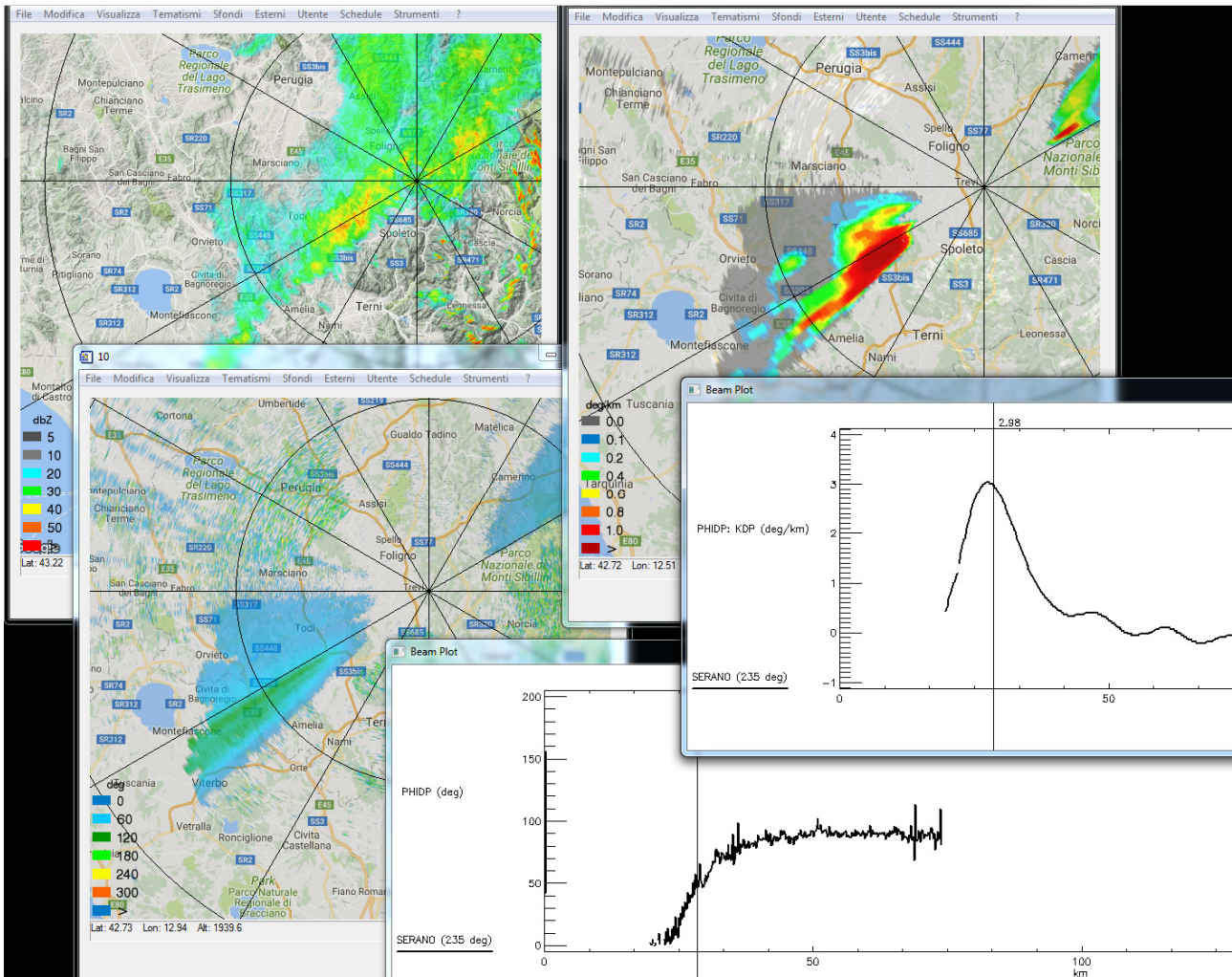


The image shows a software window titled "parameters.txt" with a close button (X) in the top right corner. The window contains several input fields for configuration parameters:

N. iterations	3
Median Width (bin)	3
PHI _{dp} win (km)	2.5
Win Reduction (bin)	0.5
min K _{dp} (deg/km)	-1.0
max K _{dp} (deg/km)	30
Quality Threshold (%)	90

At the bottom of the window, there are three buttons: "File", "Alt.Par.", and "Ok".

Nella figura seguente si può notare come i valori di K abbiano una forma piuttosto *smooth*: elevati in presenza di precipitazione forte e nulli laddove la precipitazione è debole.



Da notare che, a differenza delle altre grandezze, poiché non è prevista la distribuzione del volume K, attualmente viene salvato esclusivamente il volume ad alta risoluzione, ma non quello campionato.

1.5 Dati Ausiliari

Questo paragrafo descrive le procedure per la generazione di alcune statistiche fondamentali utilizzate durante il processo elaborativo locale.

In particolare: mappe di clutter, mappe di occorrenze e profili verticali.

1.5.1 Mappe di Clutter

Buona parte dei dati radar che vengono generalmente identificati come clutter, risultano essere abbastanza bene individuati mediante una statistica degli echi fissi.

D'altra parte, per ciascun radar, è opportuno provvedere ad una verifica regolare di tale statistica che tenga conto delle frequenti oscillazioni che si manifestano in maniera più o meno casuale e/o stagionale.

Presso ogni nodo (server) locale, in maniera automatica viene costantemente aggiornato un piccolo archivio di scansioni contenente le ultime (10) scansioni con una frequenza minima di 3 ore in condizione di cielo sereno (o comunque prive di eco meteo significativo):

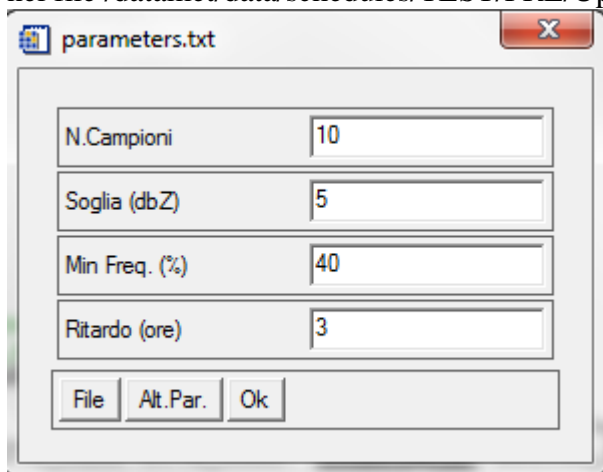
`$RV_DATA_PATH/clutter/(sito)/samples/(copertura)/(elevazione)`

La distinzione sulla copertura è necessaria in quanto alcuni radar (ARPAER) utilizzano una copertura variabile nelle strategie di scansione e soprattutto la variazione di PRF determina una evidente variazione del segnale di clutter nelle diverse modalità operative.

Trascorse 3 ore, nel caso in cui vengano soddisfatte le condizioni di 'bel tempo', il volume più vecchio viene sostituito dal più recente e la statistica viene aggiornata.

Da tale archivio, per ogni elevazione, si ricava una mappa di clutter considerando il massimo segnale rilevato per ogni cella che mantenga un segnale minimo (5 dbZ) con una frequenza di almeno il 40%. Da notare che laddove (radar ENAV) non siano disponibili dati relativi alla riflettività UZ viene utilizzata la riflettività corretta CZ.

Per alcuni radar (in particolare CAPOFIUME, GATTATICO e FOSSALON) le variazioni del clutter sono piuttosto frequenti e significative. In tali casi il clutter stesso impedisce la verifica della condizioni di 'bel tempo' e può accadere che la mappa di clutter non venga aggiornata: per tali siti la frequenza di aggiornamento impostata è inferiore (2 ore) e il numero di campioni considerati è superiore (20). E' comunque consigliabile una attenta supervisione per verificare se occorre imporre un aggiornamento 'manuale' (a tale scopo è sufficiente modificare il numero (sito).nSamplesToAdd nel file `/datamet/data/schedules/TEST/PRE/UpdateClutterMap/parameters.txt`).



1.5.2 Mappe di Occorrenze

Le Mappe di Occorrenze forniscono un ottimo indicatore della bontà statistica di ogni singola cella polare.

Dall'analisi della distribuzione delle frequenze è possibile ricavare uno stimatore della distribuzione degli echi meteo, degli echi non-meteo e soprattutto dei 'non-eco' cioè quelle zone affette da occlusione totale o parziale (VisibilityMapTest).

La collocazione del database della visibilità è parallela alle mappe di clutter. Per ogni sito, copertura ed elevazione, esiste un percorso in cui vengono memorizzati dei contatori:

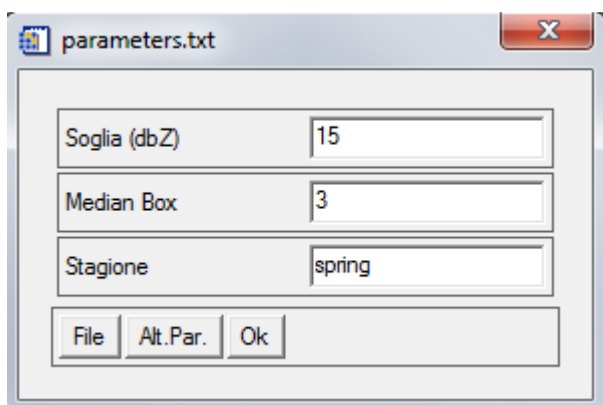
`$RV_DATA_PATH/clutter/(sito)/(stagione)/(copertura)/(elevazione)`

Le cartelle sono alimentate dalla procedura UpdateVisibilityMap, attiva ogni 10 minuti nella schedula TEST/PRE.

L'algoritmo ha lo scopo di aggiornare una matrice di dati in cui ogni elemento è rappresentativo di una cella polare ad una data elevazione. I valori in esso contenuti rappresentano il numero di scansioni in cui la riflettività è risultata essere superiore ad una certa soglia (attualmente posta a 15 dbZ). Essendo tale numero memorizzato in una matrice intera a 16 bit il massimo valore possibile è 65535.

Affinché tali mappe siano significative è importante che l'aggiornamento sia attivo per un periodo di tempo sufficientemente lungo.

La strategia adottata prevede di mantenere tale procedura costantemente attiva e considerare mappe stagionali. Il parametro 'class' individua la stagione corrente e viene modificato ogni 3 / 4 mesi circa.



Occorre attendere almeno un mese prima che le mappe siano sufficientemente significative. Trascorso tale periodo occorre adeguare il parametro 'class' sul Test corrispondente (VisibilityMapTest).

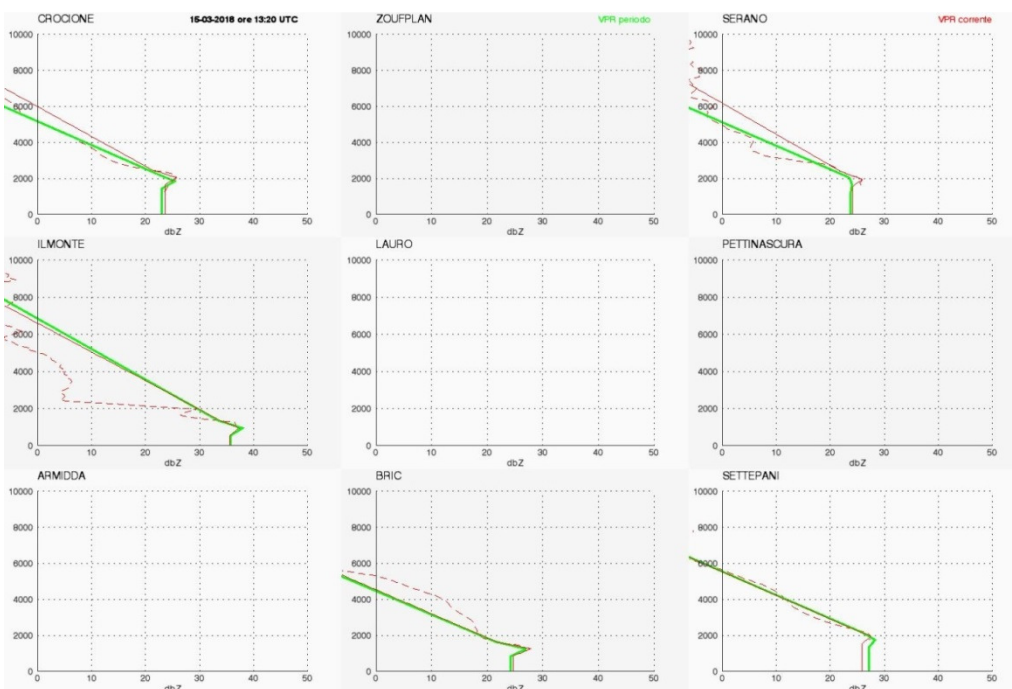
1.5.3 Profilo medio

Il profilo verticale fornisce una informazione sulla distribuzione della riflettività in quota e sul gradiente medio del segnale radar rispetto alle quote di osservazione.

Può essere utilizzato per stimare la riflettività nelle zone occluse tenendo conto della riflettività rilevata dal primo fascio libero e dal gradiente di riflettività tra la quota effettiva del fascio e la quota del terreno (o di una quota costante predefinita).

Il profilo medio viene costantemente aggiornato sulla base degli ultimi profili. I profili sono calcolati esclusivamente sulla base di celle ad alta qualità, essendo quest'ultima definita in base ad una certa soglia.

Le immagini seguenti mostrano come i profili medi dei vari radar siano visibili e utilizzabili in fase di correzione solo quando c'è una precipitazione in atto.



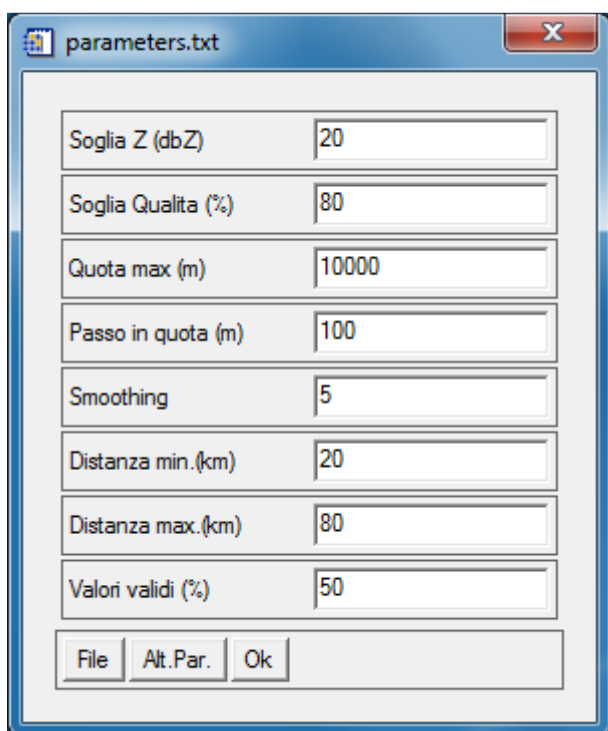
Ad ogni scansione si calcola il profilo corrente (linea rossa tratteggiata).

Il profilo corrente ha una risoluzione verticale di 100 metri: per ogni quota, si tiene conto della media di tutti i valori di riflettività sulla verticale di ogni cella, compresa tra una distanza minima e una distanza massima, tali che:

- La qualità all'elevazione più bassa sia superiore ad una certa soglia
- La riflettività all'elevazione più bassa sia superiore ad una certa soglia

L'insieme degli ultimi profili (fino a 2 ore) è utilizzato per aggiornare il profilo medio rappresentativo del fenomeno in atto.

Quest'ultimo viene scomposto in quattro segmenti (linea verde) secondo il modello proposto da M. Montopoli (2013) allo scopo di distinguere la pendenza del profilo al di sopra e al di sotto della presunta quota di ghiaccio. Se il numero di dati validi è insufficiente a ricostruire un profilo medio attendibile, il profilo rimarrà indefinito e quindi non utilizzabile per eventuali correzioni.



The image shows a screenshot of a software window titled "parameters.txt". The window contains several input fields for parameters, each with a label and a numerical value:

Soglia Z (dbZ)	20
Soglia Qualita (%)	80
Quota max (m)	10000
Passo in quota (m)	100
Smoothing	5
Distanza min.(km)	20
Distanza max.(km)	80
Valori validi (%)	50

At the bottom of the window, there are three buttons: "File", "Alt.Par.", and "Ok".

2 PRODOTTI DI BASE

2.1 Premessa

La schedula denominata RRN (Rete Radar Nazionale) è dedicata alla generazione dei prodotti di base: si tratta di un insieme di prodotti standard fondamentali per la elaborazione dei prodotti di secondo livello (catena operativa EXTRA) e per la distribuzione.

Tutti gli algoritmi contenuti nella schedula RRN fanno uso esclusivamente dei Volumi corretti e campionati. Ciascuno di essi produce una matrice di dati che mantiene la caratteristica ‘polare’ e di risoluzione del sistema di riferimento dei dati originali: 1000mt in range, 1 grado in azimut.

Tutti i parametri che caratterizzano i Prodotti sono contenuti nel file parameters.txt.

Inoltre, il file process.txt descrive il dato di output e la codifica della matrice associata. Ciò è utile al fine di uniformare le eventuali differenze proprie di ciascun fornitore di dati verso una codifica omogenea. Lo stesso file prevede inoltre la possibilità di applicare un filtro di smoothing o filtro mediano prima della codifica stessa.

Le 2 dimensioni delle matrici di output (relativamente ai prodotti di sito) sono quindi del tipo [azimut, range]: ciò implica che la trasformazione verso un sistema di riferimento cartesiano (proiezione Mercatore) avviene in fase di mosaicatura.

Sono implementate diverse tecniche per la generazione del mosaico finale (il file process.txt definisce anche tale opzione): l’algoritmo generalmente utilizzato è quello che prevede di assegnare il valore massimo tra tutti i valori che insistono su uno stesso pixel cartesiano.

Tuttavia, per i prodotti per cui è prevista la presenza di una matrice di Qualità (in particolare VMI e SRI), la qualità associata al valore massimo è utilizzata come soglia minima per una ulteriore selezione: una volta determinata la soglia di qualità, tutti i valori con qualità superiore a tale soglia sono mediati con peso pari alla qualità stessa.

2.2 VMI

Dato un volume radar il VMI (Vertical Maximum Intensity) restituisce una mappa in cui ogni pixel rappresenta il valore massimo registrato sulla sua verticale.

Tale prodotto viene pubblicato in modalità grafica e rappresenta un’indicazione di tipo ‘qualitativo’ sulla precipitazione in atto. Essendo il prodotto più utilizzato, al fine di evitare disturbi e/o residui indesiderati di clutter, si impone una soglia di qualità più stringente rispetto al ‘controllo di qualità standard’: tutti i valori la cui qualità è inferiore al 50% vengono preventivamente annullati. Per lo stesso motivo vengono resi ‘trasparenti’ tutti i valori inferiori a 10 dbZ.

Il parametro max_height (default 12000 mt) consente di limitare la ricerca del massimo fino ad una certa quota.

La qualità associata al prodotto VMI deriva dalla qualità della cella con riflettività massima; in caso di assenza di segnale valido la qualità deriva dal PPI più basso.

A tale qualità viene poi applicata la seguente correzione:

$$Quality = Quality * q_{range} * q_{vmi}$$

(per i dettagli si rimanda al paragrafo 3.3)

2.3 VIL

Vertically Integrated Liquid contiene una mappa che rappresenta la quantità totale di acqua liquida (espressa in g/m^3) stimata all'interno di una colonna sopra la verticale di ciascun pixel.

Dato un volume di riflettività, l'algoritmo consiste nell'integrazione per ogni cella radar di tutti i valori registrati all'interno di un intervallo verticale al di sopra della cella. L'estensione dell'intervallo verticale dipende dalla sequenza delle elevazioni.

I valori di riflettività sono convertiti utilizzando la relazione:

$$LW = a Z^b$$

dove con LW si indica il contenuto di acqua liquida per ogni pixel.

Per default sono utilizzati i seguenti valori:

- $a = 3.44 \times 10^{-3}$
- $b = 4/7$

2.4 ETM

Echo Top Map è la mappa del Top delle nubi: per ogni punto indica la massima quota per cui l'eco radar assume valori al di sopra di una specifica soglia (20 dbZ).

A causa della naturale conformazione del dato radar è opportuno un ampio smoothing (7x7) al fine di limitare il classico effetto concentrico sulla mappa.

2.5 POH

Probability of Hail è una mappa contenente la probabilità del verificarsi di grandine.

E' determinata in funzione della differenza tra la quota del top delle nubi e la quota del freezing level, secondo la seguente relazione:

$$POH = 0.000133 * (ETM - FLH) + 0.319$$

Dove ETM è la massima quota in cui si rileva un segnale superiore a 45 dbZ.

2.6 CAPPI

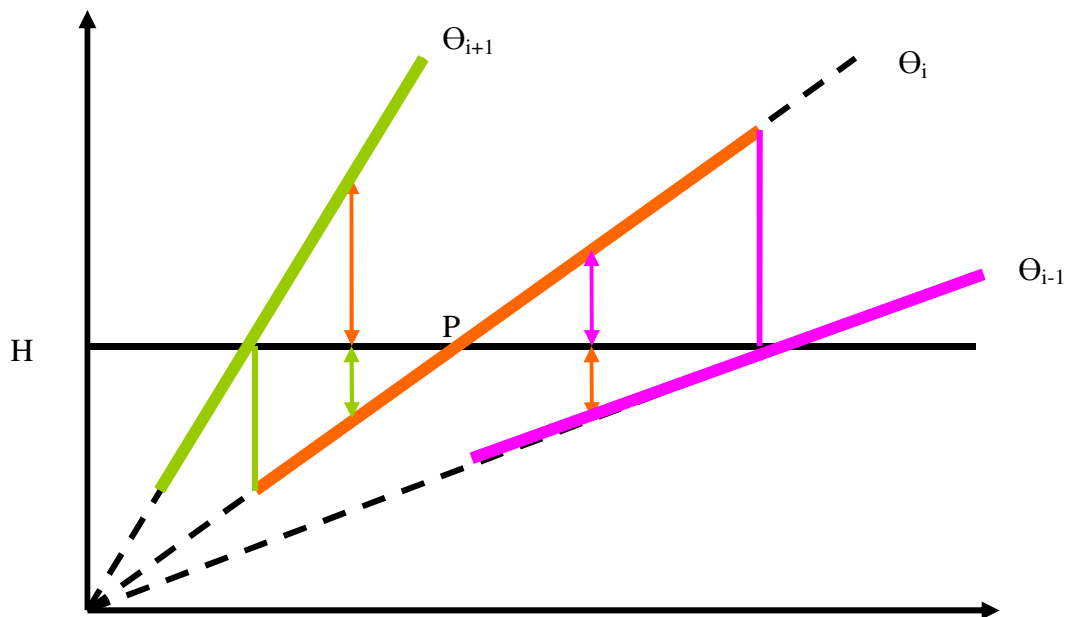
Constant Altitude Plan Position Indicator è il prodotto che restituisce un'immagine della sezione orizzontale ad una quota fissata, per la grandezza radar selezionata.

La mappa è generata combinando i dati contenuti in prossimità della intersezione tra i fasci radar e la quota fissata per il cappi.

Ogni valore del CAPPI è ottenuto dalla media pesata tra i valori corrispondenti alle due elevazioni consecutive immediatamente al di sopra e al di sotto della quota H di interesse. Il peso attribuito alle singole celle di un'elevazione Θ_i è determinato dalla distanza (lungo la verticale) tra la quota fissata

per il CAPPI e l'elevazione precedente (per i punti a destra del punto di intersezione P) o quella successiva (per i punti a sinistra del punto di intersezione P).

Nella figura seguente i colori indicano l'associazione tra le celle di una elevazione ed il peso corrispondente.



In prossimità del radar i valori vengono desunti dall'elevazione più elevata senza applicare alcuna media. In tal caso (con l'opzione 'Pseudo cappi' disabilitata) si tiene conto di una distanza massima ('Semi ampiezza') tra la quota richiesta e la cella più vicina: tale distanza determina quindi l'ampiezza della zona circolare di dati nulli al centro della mappa.

3 STIMA DELLA PRECIPITAZIONE

3.1 Premessa

Le tecniche di pre-elaborazione dei volumi radar descritte in precedenza sono essenzialmente mirate ad ottenere la migliore stima possibile dell'intensità di precipitazione.

Tuttavia, sono ancora possibili diversi metodi e algoritmi alternativi che tendono ad ottimizzare ulteriormente i risultati.

La schedula DUAL contiene il prodotto operativo ufficiale denominato SRI.

A tale prodotto viene poi applicata una ulteriore fase di correzione al fine di ricavare la migliore stima attualmente disponibile: SRI_adj.

I valori di intensità di precipitazione (mm/h) ricavati dalla stima SRI (e SRI_adj) vengono poi utilizzati per essere cumulati nell'arco di ogni ora: schedula RADAR/SRT. Naturalmente, considerando la frequenza a 5 minuti, ogni singolo prodotto ha un peso omogeneo pari a 5/60.

Di seguito vengono esposti i principi essenziali alla base delle scelte attuate e le correzioni in uso.

3.2 SRI

SRI (Surface Rainfall Intensità) è il prodotto che fornisce la stima di precipitazione in prossimità del suolo.

L'algoritmo alla base della stima di precipitazione analizza i volumi campionati di riflettività Z e qualità Q ad essa associata. E' necessario che entrambi i volumi polari Z e Q siano proiettati al suolo affinché tutte le celle lungo la verticale siano coerenti con la distanza radiale indipendentemente dall'elevazione (tale proiezione corrisponde ad un ulteriore campionamento dei beam dell'ordine del coseno dell'angolo di elevazione).

Tutti valori di riflettività contenuti nel volume sono convertiti in misura di precipitazione invertendo la relazione di Marshall Palmer

$$Z = aR^b \quad [\text{mm h}^{-1}]$$

dove Z è espressa in $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$ ed R in mm h^{-1}

$$R = \begin{cases} (1/a)Z^{1/b} & \text{per } 10 \cdot \log_{10}(Z) > 10 \text{ dBZ} \\ 0 & \text{per } 10 \cdot \log_{10}(Z) \leq 10 \text{ dBZ} \end{cases}$$

Per i parametri a e b della relazione Marshall Palmer sono assunti i valori standard:

- $a = 200$
- $b = 1.6$

Sulla verticale di ogni cella polare si individua il valore massimo di precipitazione $maxR$ e la qualità Q_{maxR} corrispondente. Successivamente, si considerano tutti i valori in quota fino alla quota dove è stato individuato il massimo e con qualità migliore. Il valore di SRI è calcolato come media ponderata:

$$SRI = [maxR * Q_{maxR} + \sum(R_i * Q_i)] / [Q_{maxR} + \sum(Q_i)] \quad \text{per ogni } i \text{ tale che } \Theta_i < \Theta_{maxR} \text{ and } Q_i > Q_{maxR}$$

3.3 Qualità

Il prodotto SRI ha la caratteristica di contenere una matrice di qualità. Assegnare un valore alla presunta bontà della stima risulta essere determinante soprattutto in fase di mosaicatura.

Il valore di qualità iniziale è dato dalla media della qualità associata a tutte le celle di riflettività utilizzate per calcolare la precipitazione. Da notare che in assenza di precipitazione la qualità risultante è quella che deriva dalla cella polare più bassa in quota.

La qualità viene poi ulteriormente corretta secondo 3 semplici considerazioni basate sulla distanza, la quota e il valore:

$$Quality = Quality * q_{range} * q_h * q_{sri}$$

- Qualità associate alla **distanza**:

$$q_{range} = \begin{cases} 0 & \text{for } r \geq r_{max} \\ 1 & \text{for } r \leq r_{min} \\ \sqrt{\frac{r_{max} - r}{r_{max} - r_{min}}} & \text{for } r_{min} < r < r_{max} \end{cases}$$

Dove:

$$r_{max} = 250 \text{ km}$$

$$r_{min} = 50 \text{ km}$$

r è la distanza polare di ogni singola cella dal radar.

- Qualità associata alla **quota**:

$$q_h = \begin{cases} 0 & \text{for } \delta \geq h_{max} \\ 1 & \text{for } \delta \leq h_{min} \\ \frac{h_{max} - \delta}{h_{max} - h_{min}} & \text{for } h_{min} < \delta < h_{max} \end{cases}$$

Dove:

$$h_{max} = 12000 \text{ m}$$

$$h_{min} = 5000 \text{ m}$$

δ = quota del dato radar rispetto al terreno (DEM).

La quota considerata è ottenuta mediando le quote delle celle utilizzate per stimare la precipitazione (ponderate con la qualità).

- Qualità associate al **valore**:

$$Q_{sri} = 0.8 \quad \text{per } sri \leq 0$$

$$Q_{sri} = 1 \quad \text{per } sri > 0$$

Quest'ultima accortezza riduce la qualità dei dati non significativi. Lo scopo di tale riduzione è quello di privilegiare i dati con precipitazione positiva in fase di mosaicatura.

3.4 Correzioni

3.4.1 VPR

Poiché per SRI si intende la stima della precipitazione in prossimità della superficie del terreno, in prima approssimazione dovremmo considerare il PPI associato alla minima elevazione come dato candidato ad essere più verosimile.

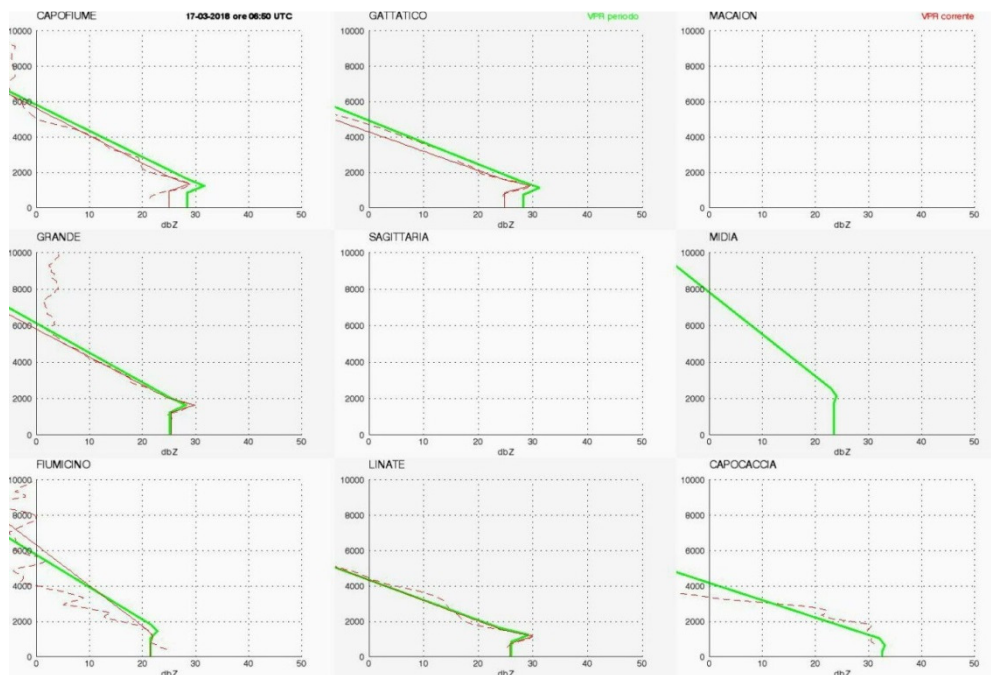
D'altra parte, è frequente la situazione in cui, per diversi motivi (in particolare occlusione del fascio, sequenza delle elevazioni, curvatura terrestre), la quota minima disponibile risulta essere piuttosto lontana dal suolo. Durante fenomeni di tipo stratiforme questo problema tende a causare una sottostima del valore reale di precipitazione.

L'obiettivo della correzione mediante VPR è quello di 'proiettare' il valore di riflettività verso il suolo (da non confondere con la proiezione geometrica di cui sopra); a tale scopo il profilo medio ci fornisce una indicazione sull'andamento medio in quota del segnale radar.

Abilitando la correzione VPR, tutto il volume di Z viene corretto prima di essere dato in input alla procedura descritta precedentemente. In tal caso, al volume campionato e declutterato verrà aggiunta una quantità pari al gradiente di riflettività ricavato dal profilo tra la quota della cella polare considerata e la cosiddetta Z_{rain} (riflettività media della pioggia al suolo).

Naturalmente ciò avviene solo nei casi in cui la situazione meteorologica in atto consente di ricavare un profilo significativo (par. 1.5.3). Il profilo corrente viene utilizzato solo se la sua data di aggiornamento è più recente di 1 ora.

Il parametro maxDelta (attualmente posto a 15 dbZ) impedisce di effettuare correzioni troppo eclatanti. Durante il periodo estivo la correzione VPR non è necessaria, pertanto viene esclusa ponendo maxDelta = 0.



3.4.2 K_{DP}

Il prodotto SRI viene ulteriormente corretto per tener conto del contributo delle grandezze polarimetriche laddove disponibili.

In particolare, la procedura attualmente attiva prevede una media ponderata tra la precipitazione ottenuta con il metodo descritto in precedenza e la precipitazione derivata dalla grandezza K_{DP} .

Per quanto riguarda la trasformata $R = f(K_{DP})$ i coefficienti della funzione di potenza

$$R = a K_{DP}^b \quad [\text{mm h}^{-1}]$$

sono i seguenti:

$$A = 22.0, B = 0.8$$

(per i radar in banda X il valore di A è posto pari a 14.0).

La stima di precipitazione media viene ottenuta come

$$R(Z, K_{DP}) = w * R(K_{DP}) + (1-w) * R(Z)$$

Tenendo conto che il contributo della grandezza K migliora con precipitazione intensa, il peso w viene posto pari a:

$$w = (K_{DP} - K_0) / (K_1 - K_0)$$

dove, attualmente

$$K_0 = 0.3$$

$$K_1 = 1.3$$

Inoltre, con

$$w \in [0, 0.9]$$

e con

$$w = 0 \quad \text{dove } R(Z) < 0.2$$

3.5 Adjustment

La stima dell'intensità di precipitazione può essere ulteriormente corretta tenendo conto della precipitazione effettiva in atto ricavata dalle informazioni puntuali più recenti disponibili. Insieme al prodotto SRI la schedula RADAR/DUAL contiene anche il prodotto SRI_adj, con:

$$\text{SRI_adj} = \text{SRI} * \text{ADJ}$$

Si tratta di una correzione puntuale applicata al prodotto mosaicato a livello nazionale.

La matrice ADJ contiene un coefficiente moltiplicativo dinamico aggiornato ogni ora sulla base del rapporto **R/P** tra la precipitazione cumulata Radar e la precipitazione cumulata Pluviometrica interpolata dal modello Griso. E' importante sottolineare che il modello Griso è disponibile dopo 30 minuti dall'orario nominale, tuttavia il dato pluviometrico da cui è ricavato il modello non sempre è attendibile con la stessa tempistica.

L'ipotesi alla base della correzione applicata è che l'errore della stima sia dovuto alla qualità del dato radar. Si è verificato che tale qualità dipende in massima parte dalla collocazione geografica e non subisce variazioni significative nel tempo. Di conseguenza, allo scopo di ridurre l'incertezza della stima, è ragionevole tenere in considerazione gli errori recenti registrati in caso di pioggia significativa.

La correzione tiene conto di una verifica *a posteriori* della bontà della stima distinguendo 2 casi:

- correzione basata sul breve periodo laddove esiste una sufficiente precipitazione in atto
- correzione basata sul lungo periodo negli altri casi.

A tale scopo esistono 2 matrici di Assessment aggiornate ogni ora alle seguenti condizioni:

Assessment a Lungo Termine del rapporto R/P

- Basato sulle cumulate a 24 H
- Aggiornato ogni ora solo dove nelle ultime 24 H si superano 5 mm di pioggia reale P
- Altrove rimane inalterato

Assessment Corrente del rapporto R/P

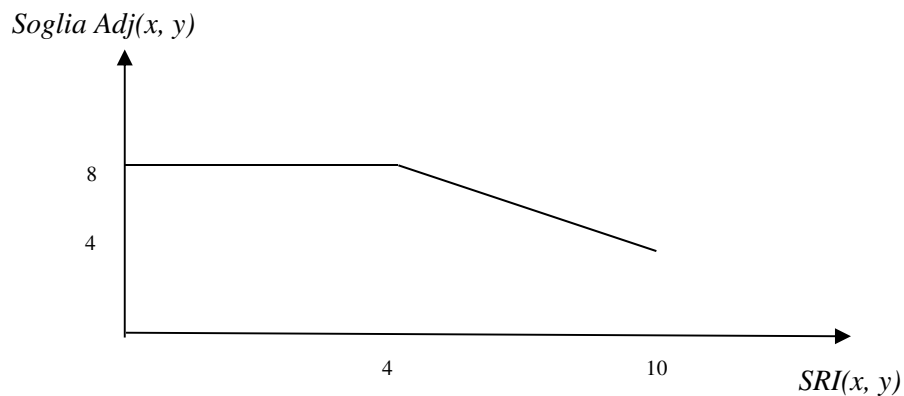
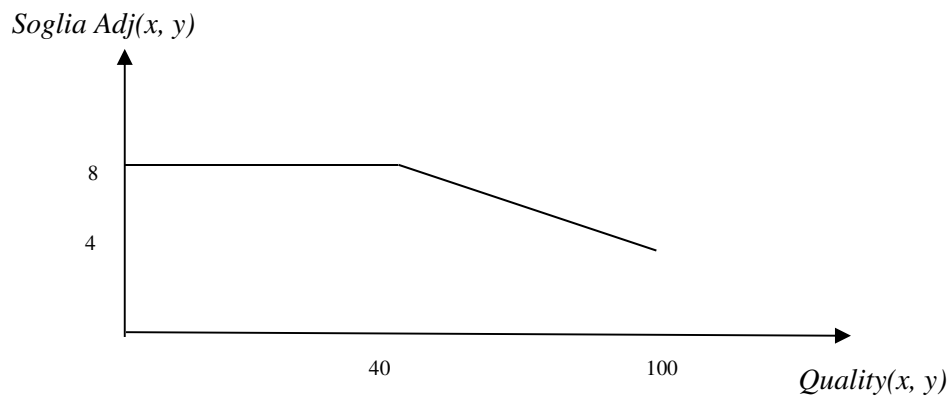
- Basato sulle cumulate a 3 H
- Aggiornato ogni ora solo dove nelle ultime 3 H si superano 2 mm di pioggia reale P
- Altrove viene posto pari all'Assessment a Lungo termine

L'aggiornamento delle matrici di Assessment è devoluto alla schedula VALID definita nella catena operativa SENSORS. In tale schedula sono definiti 2 prodotti denominati AF_24 e Assessment (con i parametri necessari) che aggiornano rispettivamente le matrici a lungo e a breve termine, calcolando il rapporto tra le cumulate (Radar e Griso) indicate.

Entrambe le matrici di Assessment mantengono sempre un valore non nullo su tutta l'estensione del territorio italiano escluso il mare.

Il coefficiente moltiplicativo ADJ viene derivato dalla matrice di *Assessment Corrente* tenendo conto di una serie di cautele al fine di evitare eccessi di correzione dovuti ad anomalie.

Nonostante sia spesso evidente una buona correlazione tra stima e pioggia misurata nelle aree ad alta qualità (e una chiara sottostima della precipitazione laddove il dato radar è affetto da problemi di varia natura) è necessario gestire alcune situazioni che potrebbero generare risultati anomali. Sono previste due soglie dinamiche in funzione dei valori di Qualità Radar e dei valori di SRI il cui andamento è rappresentato nelle figure seguenti:



Questo modello è determinato dalla banale, ma non sempre vera, considerazione che la Qualità Radar determina la Qualità della stima (e viceversa).

Le soglie sono configurabili e in pratica evitano che:

- la correzione superi un fattore 8 nei casi di scarsa qualità
- la correzione superi un fattore 4 nei casi di buona qualità
- la correzione superi un fattore 8 nei casi di bassi valori di SRI
- la correzione superi un fattore 4 nei casi di alti valori di SRI.

Durante il periodo estivo è opportuno ritoccare tali controlli. In particolare, nelle zone ad alta qualità la correzione si rende quasi superflua: si suggerisce di sostituire il valore 4 con 2.

4 VERIFICA DELLA STIMA

4.1 Premessa

Le problematiche insite nella stima della precipitazione hanno portato allo sviluppo di diverse tecniche di elaborazione e di conseguenza alla necessità di confrontare i risultati.

Datamet mette a disposizione una serie di strumenti utili a mantenere costantemente sotto osservazione la bontà delle stime e valutare gli eventuali sviluppi nel tempo.

Il dato puntuale disseminato dalla rete di pluviometri è considerato come elemento oggettivo di misura della precipitazione cumulata.

E' importante sottolineare il fatto che i dati radar e i dati pluviometrici seguono delle tempistiche completamente differenti; inoltre, il dato pluviometrico è disponibile mediamente con 30/45 minuti di ritardo.

Ai fini dell'analisi del dato radar e del confronto con la precipitazione osservata è necessario fare in modo che i dati disponibili siano il più possibile omogenei e coerenti fra loro: per questo motivo l'unità elementare di tutte le analisi statistiche correntemente utilizzate è il dato di precipitazione cumulata in 1 ora.

4.2 Raingauges

I dati pluviometrici vengono acquisiti regolarmente nel sistema Datamet dopo essere stati raccolti e processati a cura del CIMA.. La frequenza di ricezione è di 30 minuti.

Al fine di sopperire ad eventuali (e probabili) mancate trasmissioni di alcuni sensori, i dati contenuti nel file si riferiscono alle ultime 2 ore.

Ogni pluviometro è identificato da un codice. Poiché sono frequenti i casi in cui i codici non sono univoci, il codice fornito dal CIMA è accompagnato dal codice fornitore.

Datamet utilizza un codice univoco derivato dall'anagrafica Cima per risolvere i casi in cui lo stesso sensore proviene da reti diverse e di conseguenza è individuato da codici CIMA differenti.

Ciascun pluviometro fornisce informazioni relative alla pioggia cumulata con intervalli di integrazione che possono andare dal singolo minuto ai 30 minuti.

Il file ricevuto viene subito processato: sul server datamet2 il comando `import_raingauges.com` viene lanciato ogni 5 minuti per verificare la disponibilità del file inviato dal CIMA. Ogni record (pluviometro) contenuto nel file viene opportunamente elaborato allo scopo di uniformare il valore di precipitazione misurata ad intervalli regolari di 1 ora.

Nel direttorio `/data1/SENSOR/SUMMARY/RAIN` esiste un archivio di file ognuno dei quali si riferisce ad un giorno intero.

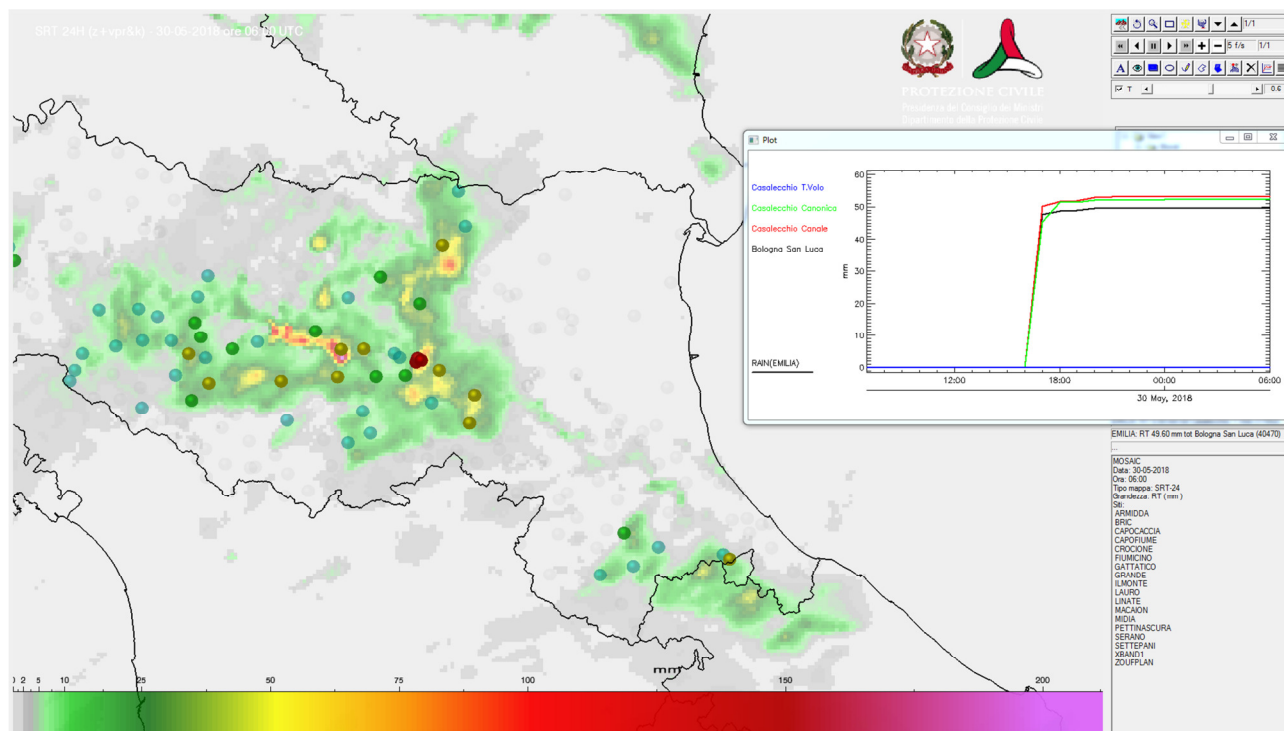
Ogni record si riferisce ad un pluviometro; la prima colonna indica il codice del pluviometro.

Le successive 24 colonne si riferiscono alla pioggia cumulata nelle 24 ore del giorno.

Da notare che la colonna hh integra la precipitazione dal minuto hh:00 al minuto hh:59.

Contemporaneamente viene aggiornato un repository utilizzato a scopo di display grafico:
/datamet/data/extern/RAIN/<region>

I file SRT.txt contenuti in ogni singola cartella (regione) contengono solo ed esclusivamente i valori delle ultime 24 ore. E' possibile attivare la sovrapposizione del layer (dati esterni) da qualsiasi postazione grafica; ogni pluviometro è identificato da un piccolo cerchio colorato in funzione della pioggia cumulata.



Il plot mostra l'andamento della precipitazione nelle ultime 24 ore misurata dai pluviometri in prossimità del mouse.

4.3 Radargauges

Scopo dell'analisi è quello di verificare la bontà della stima radar, ma soprattutto confrontare le diverse tecniche di stima. Per questo motivo è stato introdotto il concetto di Radargauge: ossia il valore di precipitazione misurato in 1 ora dal radar in corrispondenza di ogni Raingauge.

Naturalmente, esistono diverse reti di Radargauge in funzione delle diverse tecniche di stima che sono oggetto di analisi e confronto.

Attualmente sono attive diverse reti di Radargauge, le seguenti sono le principali:

- BASIC
- VMI
- VPR
- DUAL
- ADJ

Ad ognuna di esse è dedicata una cartella che viene regolarmente alimentata per conservare una sintesi quotidiana dei valori stimati: /data1/SENSORS/SUMMARY/...

Tali cartelle sono aggiornate ogni volta che viene generato un prodotto SRT_1, integrando tutti gli SRI calcolati rispettivamente mediante le seguenti tecniche:

BASIC: Avg(Z)
VMI: Max(R)
VPR: Avg(Z)+VPR
DUAL: Avg(Z)+VPR+Kdp (SRI operativo)
ADJ: SRI operativo Adjusted

Ogni ora viene aggiunta una colonna al file corrispondente al giorno corrente.

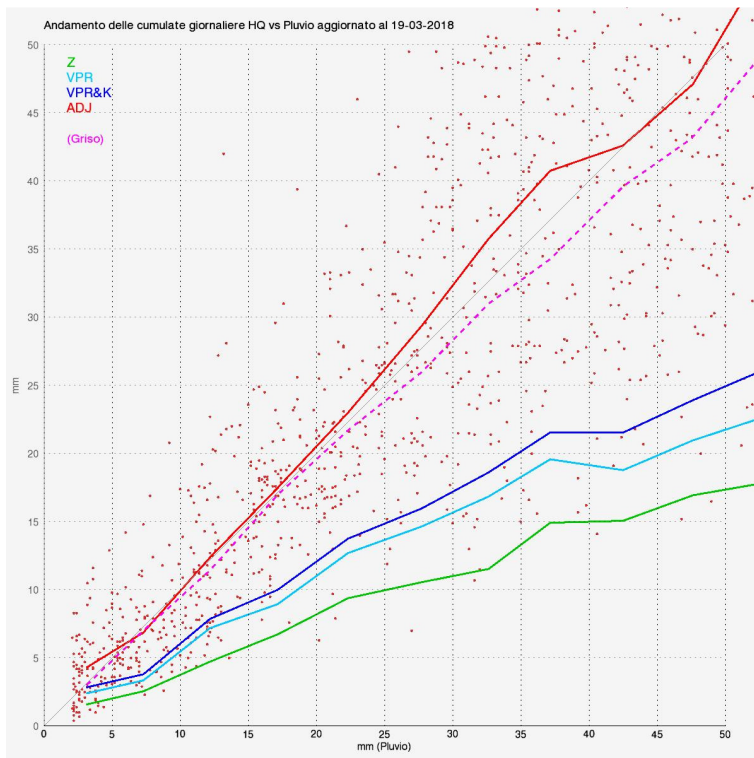
Per ogni record (Radargauge) viene considerata un'area di 5x5 kmq intorno alla posizione del pluviometro. All'interno di quest'area viene registrato il valore massimo.

Una ulteriore rete di Radargauge viene utilizzata per monitorare i valori di Qualità e soprattutto misurare la dipendenza della bontà delle stime in funzione della qualità del dato.

La catena operativa SENSORS prevede l'attivazione di una serie di procedure allo scopo di generare grafici e statistiche che si riferiscono a diversi intervalli di tempo che possono andare dalla singola ora fino a diversi mesi.

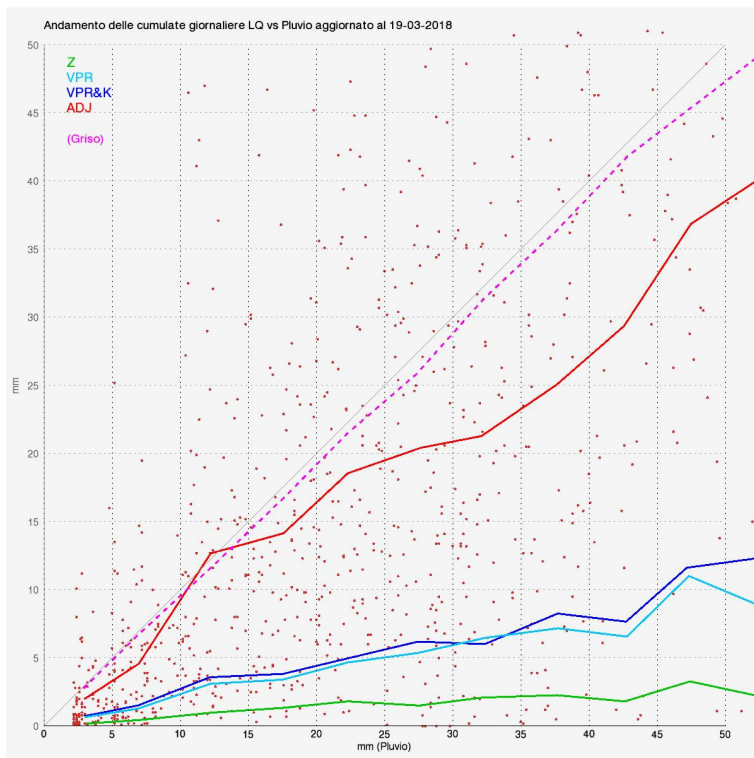
Il grafico seguente è invece un esempio di prodotto incrementale: il contenuto viene alimentato ogni volta che si verifica uno o più eventi superiori ad una certa soglia (con classi di intervalli a 5 mm) sostituendo gli eventi meno recenti. Evidenzia il contributo delle correzioni nella stima della precipitazione in corrispondenza dei pluviometri dove la qualità radar è superiore all'80%.

- La linea verde indica l'andamento medio della stima standard
- La linea celeste evidenzia il contributo della correzione VPR
- La linea blu indica l'ulteriore contributo della K_{DP}
- La linea rossa e lo scatterplot indicano il contributo finale dell'*adjustment*.



Per ogni intervallo di 5 mm (parametro step) vengono conservati 100 campioni (parametro maxClass). Ovviamente le classi più alte hanno una frequenza di aggiornamento più lenta e di conseguenza i campioni si riferiscono ad un periodo più lungo.

Il grafico seguente mostra invece che nelle aree a bassa qualità (inferiore al 60%) le varie correzioni sono meno efficaci essendo il segnale radar (linea verde) assai poco correlato con la precipitazione stessa.



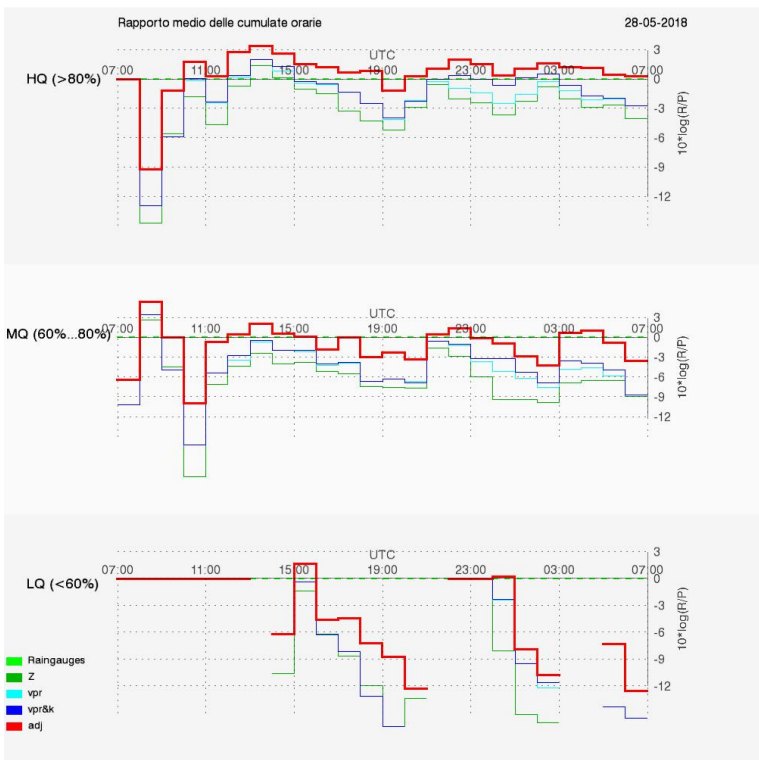
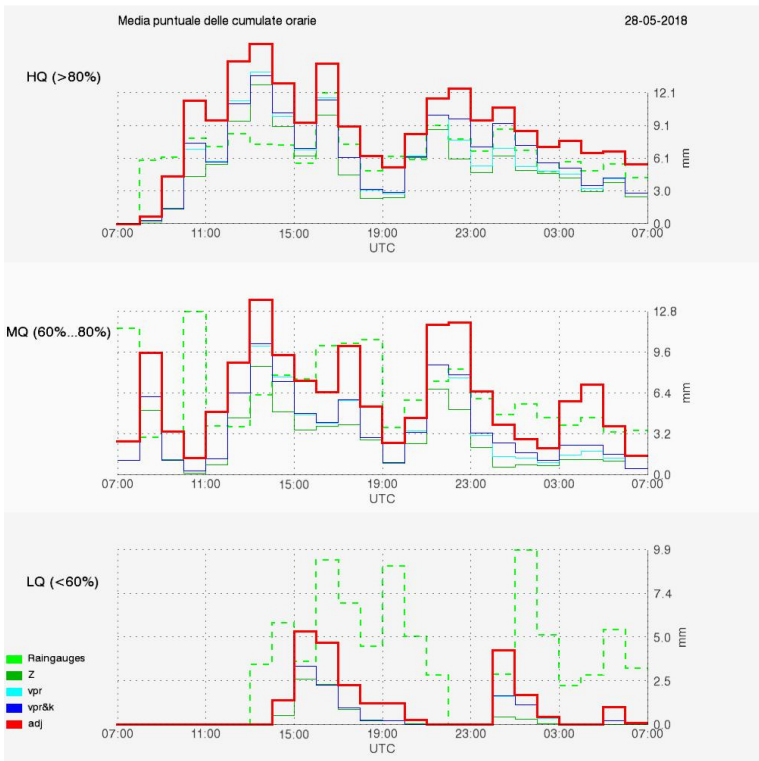
Questi grafici vengono aggiornati ogni giorno.

Durante il periodo estivo è possibile notare un sostanziale incremento della pendenza delle spezzate, che tendono verso la diagonale.

Lo stesso riscontro si può notare nei grafici seguenti che evidenziano l'andamento orario delle stime.

In questi esempi di fine maggio, le stime orarie sono abbastanza coerenti con la misura pluviometrica (linee verdi tratteggiate). Nei plot inferiori si evidenzia la dipendenza tra sottostima radar e scarsa qualità del dato (Low Quality).

Durante il periodo invernale la linea verde tratteggiate è costantemente al di sopra della linea rossa.



5 HEAVY RAIN

5.1 Premessa

Con il termine **Heavy Rain** si vuole indicare fenomeni caratterizzati da precipitazione particolarmente violenta: sia essa intensa, persistente e/o di natura temporalesca. L'analisi di gran parte dei prodotti standard generati dalla catena operativa principale ha come scopo quello di evidenziare la presenza di tali fenomeni sul territorio italiano.

L'obiettivo finale è quello di disseminare messaggi di *Warning* durante il verificarsi di un fenomeno meteorologico potenzialmente pericoloso. Inoltre, laddove possibile, si tenta di prevedere l'evoluzione futura del fenomeno stesso con un discreto margine di anticipo.

5.2 Severity Index

Un generico indice SI (Severity Index) è un valore puntuale calcolato sulla base di un sottoinsieme di Prodotti P_i opportunamente normalizzati:

$$SI(x,y) = \sum(w_i * N(p_i(x,y)))$$

Dove $N(p_i(x,y))$ è un valore compreso tra 0 e 1 ricavato applicando la seguente espressione:

$$N(p_i(x,y)) = P_i(x,y) - \text{Min}(p_i) / \text{Max}(p_i) - \text{Min}(p_i)$$

Sulla base della combinazione dei prodotti selezionati, l'indice fornirà una valutazione della severità di un evento al verificarsi di certe condizioni.

Questo tipo di implementazione consente di immaginare un numero qualsiasi di indici. Attualmente sono configurati 2 indici: **HRI** e **SSI**.

5.2.1 HRI (Heavy Rain Index)

Tale indice ha l'obiettivo di valutare precipitazioni di carattere persistente. Nella configurazione attuale vengono utilizzati i seguenti 5 prodotti:

- ✓ **SRI**
- ✓ **Persistenza**
- ✓ **SRT**
- ✓ **SRT_3**
- ✓ **SRT_24**

La tabella seguente mostra i valori attualmente utilizzati per la normalizzazione di ciascun prodotto (file /datamet/data/schedules/EXTRA/HRW/HRW/hri.par):

Coeff Norm	SRI	Pers	SRT	SRT_3	SRT_24
Min	5	10	10	40	80
Max	40	60	40	80	200
Peso w	1	1	1	1	2

Da notare che:

- la Persistenza è espressa in minuti di precipitazione consecutiva superiore a 10 mm/h
- le cumulate orarie SRT e SRT_3 si riferiscono all'intervallo di integrazione temporale (rispettivamente 1 e 3 ore) a partire dal tempo nominale corrente (ultimo mosaico radar disponibile)
- la cumulata a 24 ore fa riferimento alla stima radar più recente corretta (*adjusted*) tramite i dati del modello GRISO: il ritardo rispetto al tempo nominale varia da 0 a 50 minuti
- la cumulata a 24 ore ha un peso doppio rispetto alle altre componenti, ma dà un contributo solo in caso di precipitazione elevata (superiore a 80 mm in 24 ore)
- il valore massimo dell'indice HRI è 6

5.2.2 SSI (Severity Storm Index)

Tale indice ha l'obiettivo di valutare eventi di carattere temporalesco. Nella configurazione attuale vengono utilizzati i seguenti 6 prodotti:

- ✓ **SRI**
- ✓ **VIL**
- ✓ **POH**
- ✓ **ETM**
- ✓ **LGT**
- ✓ **SRT**

La tabella seguente mostra i valori attualmente utilizzati per la normalizzazione di ciascun prodotto (file /datamet/data/schedules/EXTRA/HRW/HRW/ssi.par):

Coeff Norm	SRI	VIL	POH	ETM	LGT	SRT
Min	20	10	0.2	5000	5	20
Max	140	40	1	10000	40	100
Peso w	1	1	1	1	1	1

Da notare che:

- la cumulata oraria SRT si riferisce all'intervallo di 1 ora a partire dal tempo nominale corrente
- Il prodotto LGT fornisce una stima in tempo reale della frequenza assoluta di fulminazioni in un intervallo di 10 minuti e all'interno di un'area di 5x5kmq
- il valore massimo dell'indice SSI è 6

5.3 Heavy Rain Warning

Il prodotto HRW ha lo scopo di tenere costantemente sotto osservazione tutti i Comuni italiani. All'interno del territorio pertinente a ciascun Comune vengono valutati i valori massimi di tutti gli indici definiti (ad oggi HRI e SSI).

Ogni 10 minuti, viene generato uno *shapefile* che contiene informazioni relative ai Comuni per cui almeno uno di tali massimi è superiore a 1 (parametro *threshIndex*).

Le informazioni registrate nella tabella dello *shapefile* si riferiscono al valore massimo rilevato su ogni Comune relativamente a tutti i Prodotti (*Features*) configurati nella schedula.

Nota di implementazione: al fine di ottimizzare l'algoritmo di assegnazione dei valori, i Comuni sono stati 'indicizzati' a priori. Ciò implica che ogni pixel appartiene ad uno ed un solo Comune; di conseguenza, alcuni Comuni di piccola estensione risultano appartenere ad uno dei Comuni limitrofi.

Inoltre, è importante sottolineare che generalmente il valore massimo degli indici non corrisponde alla combinazione dei massimi, in quanto non necessariamente i massimi sono coincidenti sullo stesso punto.

Per quanto riguarda la gestione dei Messaggi di Warnings, il prodotto HRW genera una coppia di file testuali che sintetizzano le informazioni calcolate sui Comuni che soddisfano determinate condizioni.

Tali messaggi confluiscono nel direttorio /data1/EXTRA/WARNINGS.

In tale direttorio esiste un file di configurazione (parameters.txt) in cui è possibile aggiungere uno o più criteri di generazione dei messaggi sulla base dei valori di ciascun parametro contenuto tra le *Features*.

Un allarme viene sollevato se almeno un criterio viene soddisfatto.

Attualmente, sono configurati solo 2 semplici criteri di base; i seguenti sono i parametri e le soglie utilizzate:

HRI	=	0	3
SSI	=	3	0

In pratica, un *warning* viene sollevato se e solo se almeno uno degli indici HRI e SSI supera la soglia 3.

Per aggiungere un criterio è sufficiente aggiungere una colonna di valori e ovviamente una riga per ogni parametro necessario.

In generale, il test è superato quando tutti i valori associati al Comune sono maggiori o uguali della soglia corrispondente indicata nel file. Se un parametro non appare o la soglia è nulla significa che il parametro non è influente per il criterio.

Tali soglie andrebbero opportunamente rivalutate in funzione del periodo e delle caratteristiche stagionali.

Il nome del file generato corrisponde alla data_ora.

L'estensione del file distingue 2 modalità:

- i file di tipo 'txt' riportano tutti i valori numerici delle *Features*;

- i file di tipo 'msg' riportano la traduzione dei valori numerici in descrizione testuale (quest'ultima è contenuta nello stesso file parameters.txt).

Da notare che esistono 2 ulteriori file utili a discriminare le soglie da utilizzare per alcuni capoluoghi:

- il file townlist.txt contiene la lista di tali capoluoghi;

- il file townpar.txt contiene le soglie utilizzate per tali capoluoghi:

HRI	=	0	2.5
-----	---	---	-----

SSI	=	2.5	0
-----	---	-----	---

Opzionalmente, il file contenente la lista dei comuni in allarme può essere spedito via mail (attualmente questa opzione è disabilitata).

<http://sharepoint.geosdi.org/radar/last/EXTRA/AnimazioneHRW.html>

5.4 Heavy Rain Detection

Il prodotto HRD ha lo scopo di individuare singole aree (poligoni) potenzialmente a rischio.

Tale prodotto è propedeutico alla successiva fase di Forecast.

La determinazione dei poligoni si basa sull'algoritmo *IDL* denominato *CONTOUR*: tale algoritmo ricerca aree omogenee rispetto ad un parametro di riferimento ed un valore di soglia predefinito.

Attualmente la ricerca si basa su aree caratterizzate da precipitazione istantanea (SRI) superiore a 10 mm/h (parametro *threshold*).

Lo shapefile associato al prodotto contiene la lista delle coordinate che delimitano i poligoni individuati.

Allo scopo di evitare un numero eccessivo di poligoni vengono escluse aree troppo piccole (*min_area* = 20 kmq). Inoltre, vengono filtrate aree eccessivamente estese (*max_area* = 10000 kmq).

Analogamente al Prodotto HRW, le informazioni contenute nello *shapefile* si riferiscono al valore massimo di HRI, SSI e di tutte le *Features* registrate su ogni area.

<http://sharepoint.geosdi.org/radar/last/EXTRA/AnimazioneHRD.html>

5.5 Heavy Rain Forecast

Il prodotto HRF ha lo scopo di prevedere l'andamento dell'indice HRI all'interno dei Comuni intercettati dagli eventi (poligoni) individuati dal prodotto HRD.

Si assume che ogni poligono, rappresentativo di un fenomeno precipitativo, si sposti nella direzione e con la velocità rilevate dal prodotto AMV: tale prodotto è il risultato del campionamento dei valori puntuali contenuti nel prodotto MPEF denominato *Atmospheric Motion Vector*, su una griglia di 50x50 kmq.

L'algoritmo alla base di HRF si basa sulla traslazione fino a 30 minuti di ogni poligono (a passi di 10 minuti) assumendo costante la massima precipitazione istantanea (SRI) su tutta l'estensione del poligono.

Il parametro *threshVel* è posto a 60 km/h al fine di limitare traslazioni eccessive.

Ai Comuni interessati dalla traslazione verranno associate le *Features* proprie del poligono.

Ovviamente, i valori di Persistenza vengono opportunamente aggiornati (Pers').

Inoltre, i valore di cumulata oraria vengono sostituiti con i valori di cumulata previsti nei prossimi 30 minuti (SRT').

Da notare che, allo scopo di limitare eventuali anomalie nei valori di direzione e velocità, la stima prevista SRT' viene di volta in volta mediata con la stima SRT' prevista 10 minuti prima.

Di conseguenza, viene ricalcolato anche il valore dell'indice HRI che insiste su ciascun Comune, utilizzando gli stessi coefficienti, con il peso di SRT' posto pari a 2 (per compensare i 30 minuti rispetto ai 60):

Coeff Norm	SRI	Pers'	SRT'	SRT_3	SRT_24
Min	5	10	10	40	80
Max	40	60	40	80	200
Peso w	1	1	2	1	2

Il prodotto finale contiene uno *shapefile* con le stesse caratteristiche del prodotto HRW.

Come l'HRW, anche il prodotto HRF prevede la fase di generazione di messaggi di allarme.

Tali messaggi confluiscono nel direttorio /data1/EXTRA/ALARMS e seguono le stesse modalità di configurazione descritte in precedenza.

A titolo esemplificativo, si riporta una sequenza di immagini per una valutazione qualitativa dell'evento che ha colpito la Liguria nella notte del 22 Novembre 2016.

La precipitazione durante la giornata precedente è stata piuttosto persistente.

Tra le ore 01:00 e le 03:00 il nucleo della precipitazione attraversa la costa e si dirige verso terra.

In fase di visualizzazione dei prodotti, ad ogni evento viene associata una classe, e quindi un colore, in funzione dell'indice di severità.

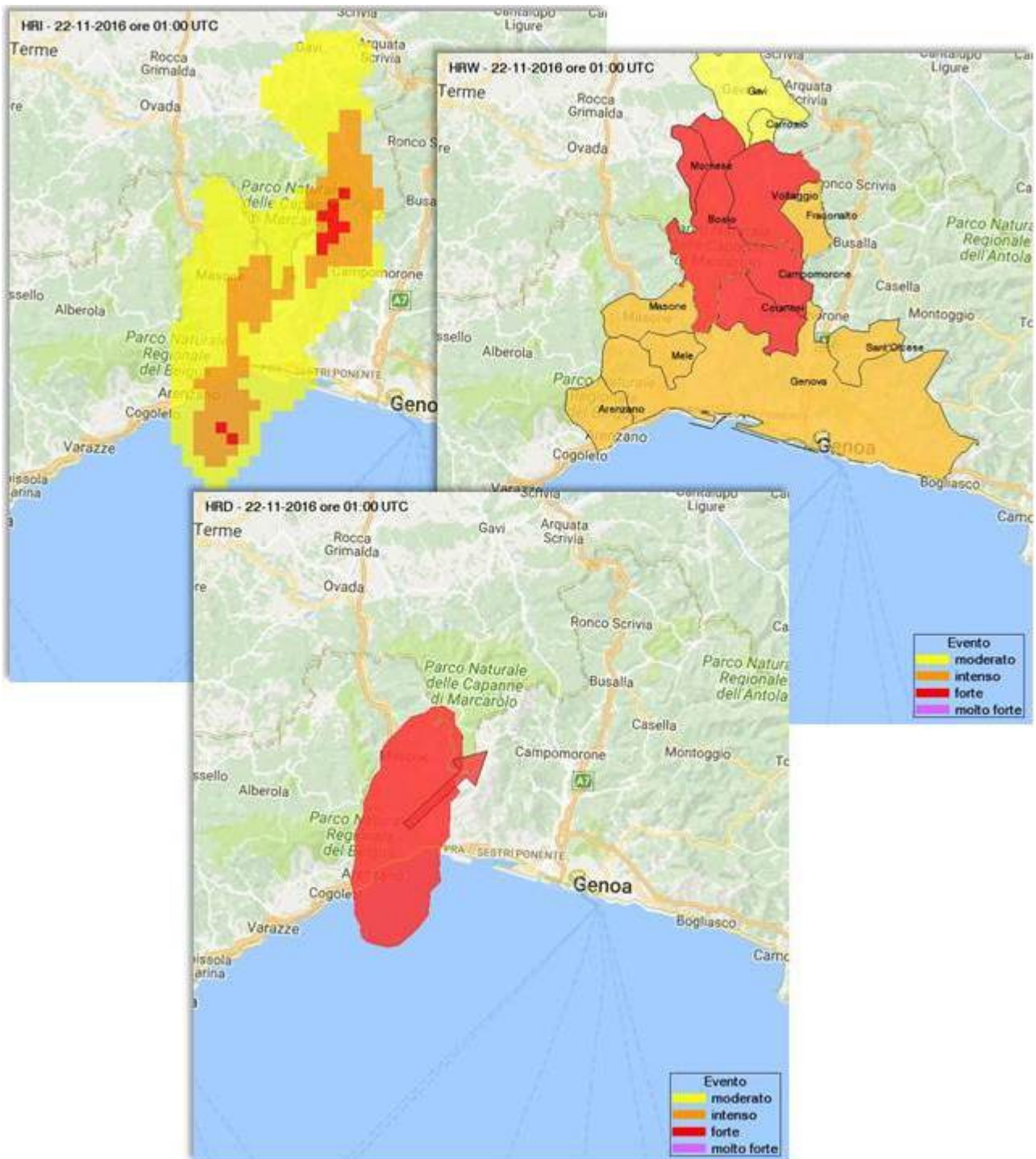
La classe dell'evento si riferisce al valore massimo (maxInd) tra HRI e SSI. In questi esempi l'indice di severità prevalente è stato l'HRI.

Le etichette e i colori della legenda corrispondono alle seguenti soglie:

- *moderato* ➔ maxInd <= 2
- *intenso* ➔ 2 < maxInd <= 3
- *forte* ➔ 3 < maxInd <= 4
- *molto forte* ➔ 4 < maxInd

Le immagini seguenti illustrano la situazione alle ore 01:00; si tratta dei prodotti HRI, HRW e HRD.

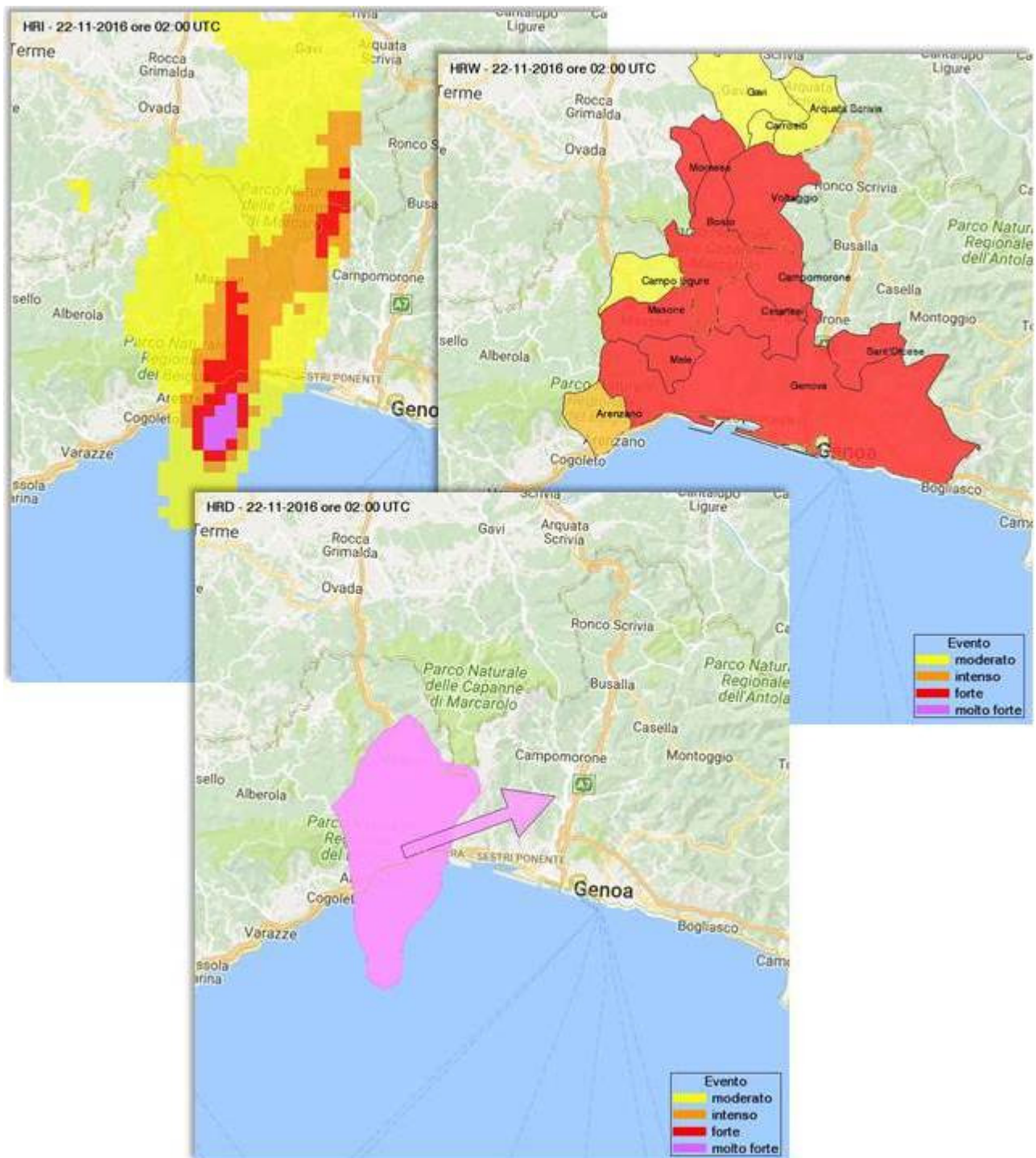
Per quanto riguarda il prodotto HRD, ogni poligono è corredato da una freccia dello stesso colore: tale freccia corrisponde ai valori di velocità e direzione degli ammassi nuvolosi in quota (AMV). La lunghezza della freccia rappresenta la potenziale traslazione (km) dell'ammasso nuvoloso durante i prossimi 30 minuti.



Le 3 immagini seguenti illustrano la situazione alle ore 02:00.

La distribuzione dell'indice HRI evidenzia che il nucleo della precipitazione (viola) è ancora sul mare, mentre la severità sui Comuni limitrofi (HRW) è ancora sul rosso.

Contemporaneamente, l'HRD indica che la severità dell'evento precipitativo è 'molto forte' con uno spostamento verso nord-est.



Le immagini seguenti evidenziano la previsione del prodotto HRF alle ore 02:00, messo a confronto con HRW e HRI delle ore 03:00.

Tenendo conto anche del precedente HRW (ore 02:00), si può notare l'anticipo con cui i Comuni assumano il colore viola.

