

RAPPORTO DI EVENTO METEOROLOGICO DEL 4-5/09/2011

(redatto da B. Turato, G. Galvani)

Abstract.....	1
1 Analisi meteorologica.....	2
2 Dati Osservati.....	7
2.1 Analisi Pluviometrica.....	7
2.1.1 Analisi dei dati a scala areale.....	7
2.1.2 Analisi dei dati puntuali.....	8
2.2 Analisi idrometrica e delle portate.....	12
2.3 Analisi anemometrica.....	15
2.4 Mare.....	15
2.5 Effetti al suolo e danni rilevanti.....	15
3 Conclusioni.....	15

Abstract

Tra il 3 ed il 5 settembre 2011 l'intero Mediterraneo e buona parte della Penisola italiana sono stati interessati da precipitazioni diffuse, localmente anche intense e persistenti, riconducibili al transito di una profonda anomalia alla tropopausa che dalle Baleari si è spinta verso Nord-Est fino all'alta Toscana favorendo lo sviluppo numerosi sistemi temporaleschi organizzati.

Nella giornata del 4 settembre i fenomeni hanno interessato gran parte del territorio ligure con precipitazioni che hanno evidenziato prevalentemente carattere di rovescio intenso o temporale.

Nel corso dell'evento si possono distinguere 3 fasi caratterizzate da dinamica diversa:

- nella mattinata del 4 settembre le piogge più intense sono state osservate sul Levante della regione, interessato dal veloce transito di un sistema convettivo alla mesoscala risalito dall'Elba verso nord. Il sistema non è risultato stazionario e pertanto le piogge, seppur localmente intense, non sono state persistenti ed hanno determinato temporanei disagi limitati alla viabilità.
- Dopo una temporanea tregua con parziali schiarite nelle ore centrali della giornata, le precipitazioni sono riprese nel pomeriggio, risultando più intense e persistenti sull'entroterra savonese e imperiese (Cadibona, Montalto Ligure) dove si sono verificati innalzamenti consistenti dei corsi d'acqua e frane superficiali rilevanti.
- Nella serata, l'ingresso di aria relativamente più secca da Nord-Ovest ha favorito un rapido esaurimento dei fenomeni sul settore centro-occidentale della regione. Per contro, il settore orientale ha visto una nuova ripresa ed intensificazione delle precipitazioni che hanno nuovamente assunto carattere di isolato rovescio o temporale. Le piogge sono risultate diffuse, generalmente intense e persistenti e si sono protratte fino alla mattinata del 5 settembre, determinando delle cumulate molto elevate sia localmente che sull'intera area, raggiungendo valori dell'ordine dei 210-250 mm lungo la costa (tra Chiavari e Sestri Levante) e fino a 390 mm nell'entroterra (La Macchia 390 mm, Tavarone 385 mm). I conseguenti danni sul territorio sono risultati piuttosto diffusi.

L'innalzamento dei livelli idrici è stato significativo su tutta la regione: localmente su A e B (in una fascia ristretta tra Finale Ligure e Savona), diffusamente su C, in particolare su Entella, Gromolo, Petronio e Vara.

Le piogge registrate tra il 4 ed il 5 settembre hanno messo in evidenza che le precipitazioni più copiose si sono avute sulla zona C con cumulate medie areali nelle 24 ore (tra le 9 UTC del 4 e le 9 UTC del 5 settembre 2011) di circa 170 mm e massimi puntuali di oltre 390 mm in 24 ore, raggiungendo intensità molto forti e quantitativi molto elevati.

Gli innalzamenti più significativi si sono registrati agli idrometri di Nasceto (F. Vara) e Sara (T. Petronio) con incrementi di livello intorno ai 3-5 metri. Si sono verificate portate consistenti, prossime all'esondazione, nei bacini dell'entroterra tra Finale Ligure e Savona, di Sestri Levante e nel reticolo dell'Entella e del Vara.

Anche dal punto di vista strettamente geologico si registrano danni sul territorio: si sono verificate diverse frane nell'entroterra di Savona, in Val Graveglia e nei comuni di Casarza e Sestri Levante.

Nel corso dell'evento non si sono registrati venti particolarmente significativi. Fino alle prime ore del pomeriggio del 4 settembre il flusso è risultato prevalentemente sciroccale. Dal pomeriggio le correnti si sono disposte da Sud-Ovest rinforzando fino a moderate al largo. In serata sul Ponente i venti si sono disposti dai quadranti settentrionali favorendo un rapido esaurimento dei fenomeni precipitativi mentre a Levante il flusso si è mantenuto da Libeccio. Il moto ondoso ha evidenziato un modesto innalzamento tra la serata del 4 e le prime ore del 5 settembre, quando la boa di La Spezia ha registrato un picco di altezza d'onda significativa di circa 1.7 m da Sud-Ovest.

1 Analisi meteorologica

Per comprendere la dinamica dell'evento intenso che ha colpito la Liguria nelle giornate del 4 e 5 settembre bisogna partire dall'analisi della situazione meteorologica sull'area Mediterranea nei giorni precedenti, quando si sono create le pre-condizioni.

Tra la fine di agosto e i primi giorni di settembre il Mediterraneo è stato interessato dalla rimonta del promontorio anticiclonico africano che ha favorito un'intensa e persistente avvezione di aria caldo-umida sul bacino e su gran parte del continente (Figura 1), ivi determinando alti tassi di umidità e temperature ben al di sopra della media del periodo. Contemporaneamente un ampio cut-off, associato ad una profonda anomalia alla tropopausa, si è progressivamente avvicinato alle coste atlantiche europee e già dal 1° settembre risultava ben visibile in prossimità del Portogallo.

Nei primi giorni di settembre il promontorio anticiclonico si è progressivamente consolidato spingendosi gradualmente verso le alte latitudini, favorendo così la continua avvezione di aria calda e umida fino al nord Europa (Figura 2) mentre il cut-off, spostandosi lentamente verso Est, ne erodeva a poco a poco il fianco occidentale.

Nella mattinata del 3 settembre l'anomalia alla tropopausa è entrata sul Mediterraneo portandosi dalla Penisola Iberica alle Baleari e favorendo per tutta la giornata lo sviluppo di numerose strutture temporalesche alla mesoscala sulla parte centro-meridionale del Mediterraneo Occidentale e sulle regioni alpine, segnale di forte instabilità atmosferica (Figura 3).

Nella mattinata del 4 settembre un sistema convettivo alla mesoscala si è formato a Est della Corsica spostandosi rapidamente in direzione settentrionale ed andando ad interessare il Levante Ligure con precipitazioni intense. Fortunatamente il sistema non è risultato stazionario e le precipitazioni si sono esaurite abbastanza rapidamente (Figura 4).

Nel corso della giornata il vortice di aria fredda in quota, rinvigorito dalla presenza di un intenso jet che delimitava la saccatura stretta e aguzza ad esso associata (Figura 9), si è portato rapidamente verso la Corsica e la Sardegna, dove è giunto nel pomeriggio del 4 settembre, determinando la formazione di un minimo barico tra il Golfo del Leone ed il Mar Ligure (Figura 6).

La configurazione sinottica venutasi a creare è riconducibile al modello concettuale del cosiddetto "warm conveyor belt", come appare evidente dal confronto tra Figura 7 e Figura 8. Il Tirreno ha convogliato un intenso flusso di aria caldo-umida di origine africana in direzione nord-occidentale lungo uno "stretto corridoio". Per contro, l'ingresso di aria secca sul Golfo del Leone e la formazione del minimo al suolo hanno indotto la rotazione del flusso da Sud-Ovest sulla parte occidentale del Golfo Ligure. Le due componenti di flusso sono risultate così convergenti e persistenti sul Ponente Ligure, dando origine alle intense precipitazioni temporalesche osservate sull'entroterra savonese e imperiese.

Nelle ore successive l'anomalia, ulteriormente approfondita, ha proseguito in direzione nord-orientale portandosi tra l'Alta Toscana e lo spezzino dove è rimasta pressoché stazionaria fino alla mattinata del 5 settembre. Anche il minimo barico formatosi sul Ligure è rimasto stazionario sulla stessa area (Figura 11) mantenendo così un intenso e persistente flusso instabile da Sud-Ovest sulla Liguria centro-orientale, risultato determinante nel produrre le intense precipitazioni osservate sull'area tra la serata del 4 settembre e la mattina del 5.

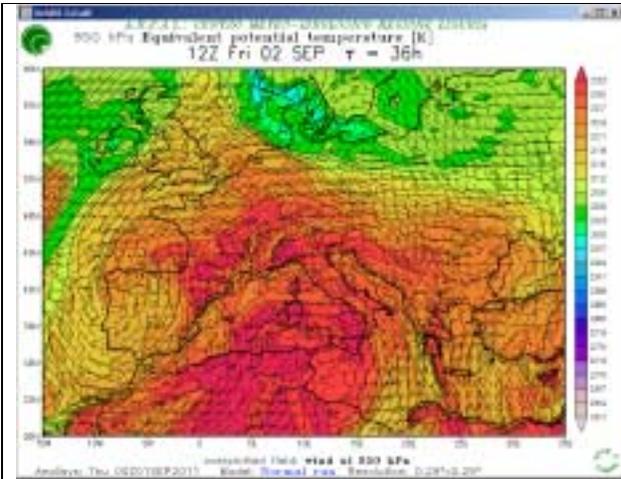


Figura 1 Mappa di Temperatura potenziale equivalente a 850 hPa riferita alle 12 UTC del 2 settembre 2011 (previsione a +36 ore del modello ECRUN inizializzato alle 00 UTC del 1° settembre 2011)

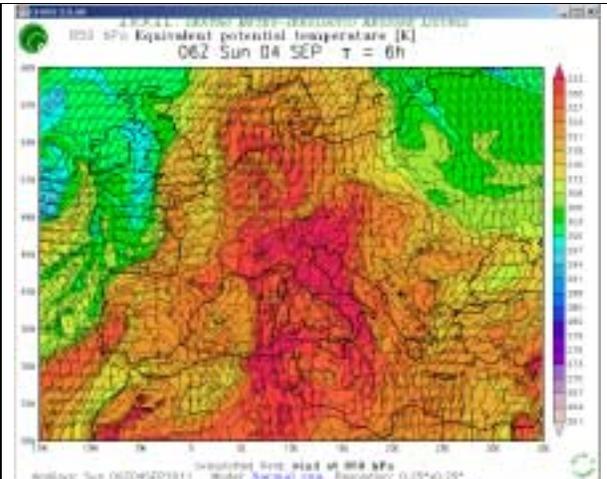


Figura 2 Mappa di Temperatura potenziale equivalente a 850 hPa riferita alle 06 UTC del 4 settembre 2011 (previsione a +6 ore del modello ECRUN inizializzato alle 00 UTC del 4 settembre 2011)

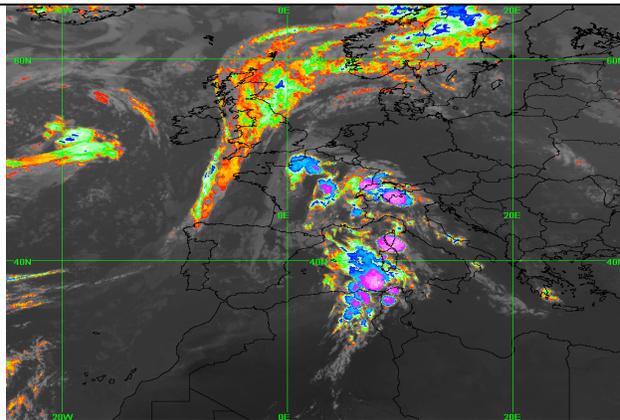


Figura 3 Immagine da satellite MSG riferita alle 18 UTC del 3 settembre (canale IR 10.8). In evidenza l'intensa attività temporalesca sull'area mediterranea associata all'ingresso dell'anomalia.

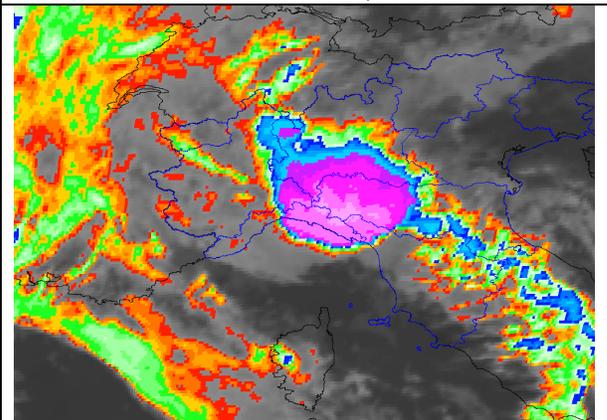


Figura 4 Immagine da satellite MSG riferita alle 10.15 UTC del 4 settembre (canale IR 10.8). In evidenza l'MSC che ha interessato il centro-Levante ligure.

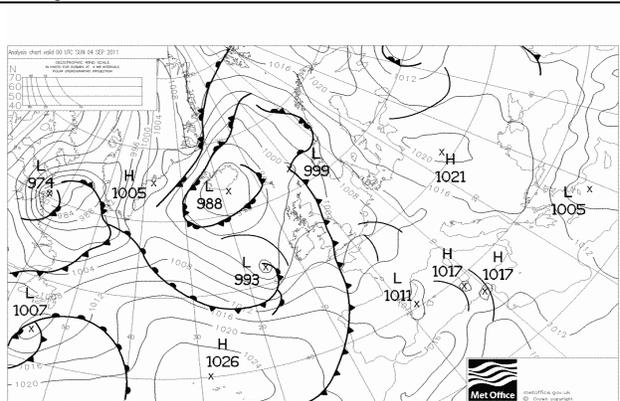


Figura 5 Analisi dei fronti al suolo di Bracknell riferita alle 00 UTC del 4 settembre 2011 - (elaborazione UK Met Office)

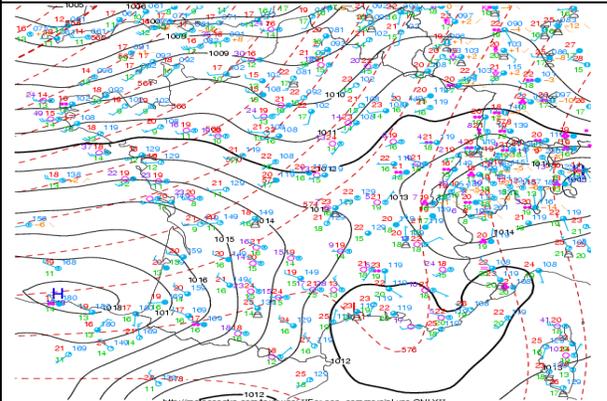


Figura 6 Mappa di osservazioni al suolo riferita alle ore 16 UTC del 4 settembre 2011 (elab. Meteocentre)

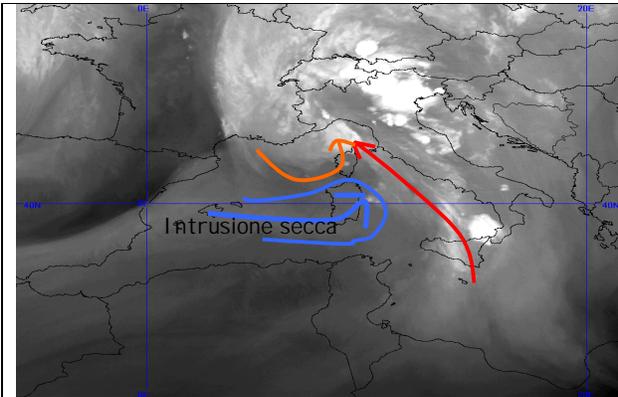


Figura 7 Immagine da satellite MSG riferita alle 14.45 UTC del 4 settembre (canale Water vapor 6.2). In evidenza la convergenza tra il flusso da Sud-Est sul Tirreno ed il flusso da Sud-Ovest generato dall'ingresso di aria secca dal Golfo del Leone, che genera convezione sulla Liguria di Ponente (istante in cui è in atto il temporale di Cadibona).

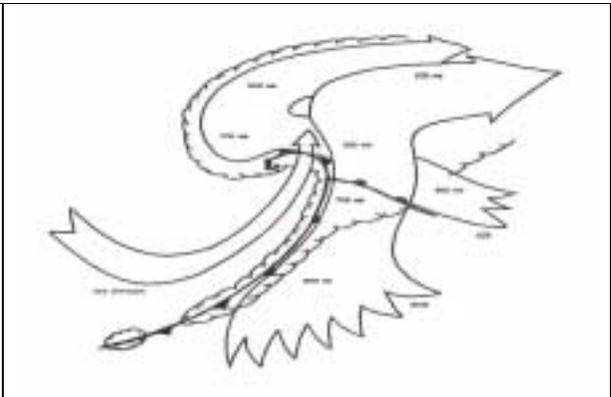


Figura 8 Modello concettuale di warm conveyor belt (immagine adattata da Figure 9 di Carlson, 1980; fonte: www.wxonline.info/topics/conveyor.html)

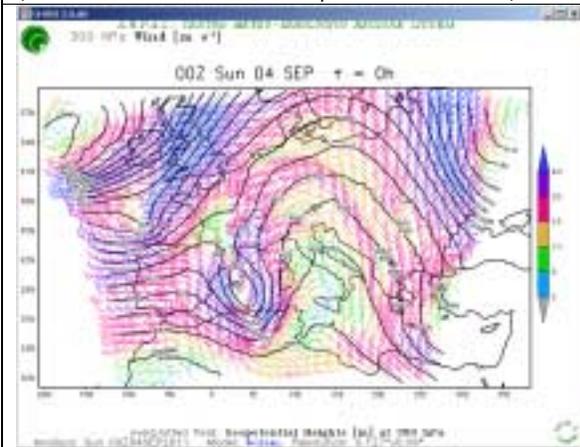


Figura 9 Mappa del vento a 300 hPa riferita alle 00 UTC del 4 settembre 2011 (analisi del modello BOLAM10 inizializzato alle 00 UTC del 4 settembre 2011)

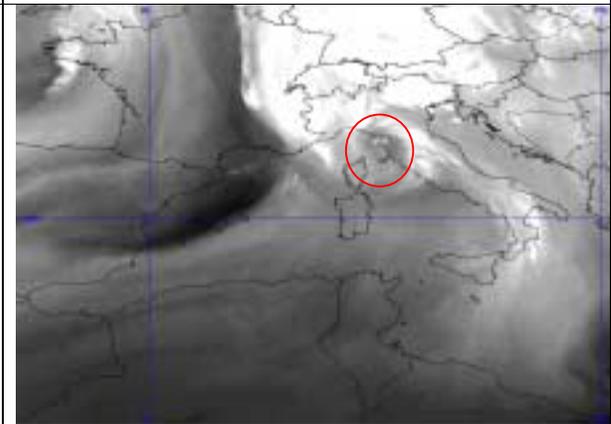


Figura 10 Immagine da satellite MSG riferita alle 21 UTC del 4 settembre (canale Water vapor 6.2). Appare chiara la presenza dell'anomalia alla tropopausa centrata tra spezzino e alta Toscana)

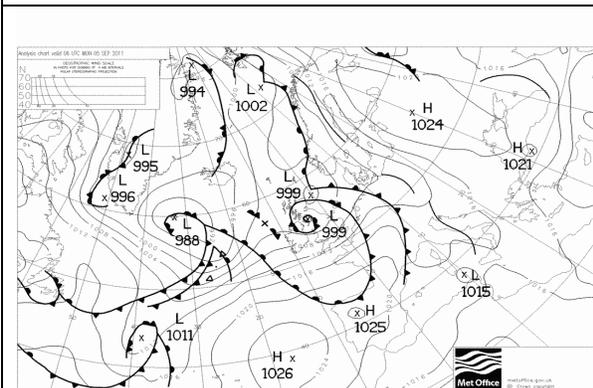


Figura 11 Analisi dei fronti al suolo di Bracknell riferita alle 06 UTC del 5 settembre 2011 - (elaborazione UK Met Office)

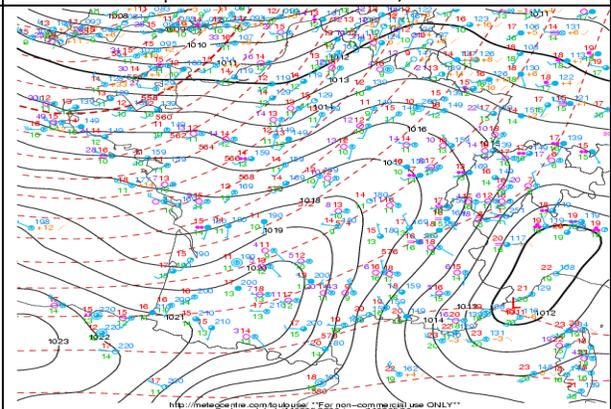


Figura 12 Mappa di osservazioni al suolo riferita alle ore 03 UTC del 5 settembre 2011 (elab. Meteocentre)

La dinamica dell'evento può quindi essere schematizzata nelle seguenti fasi:

1. pre-condizionamento: tra la fine di agosto e i primi giorni di settembre un solido promontorio anticiclonico di origine sub-tropicale ha favorito la formazione di uno strato di aria caldo-umida sull'area mediterranea ed europea. L'apporto di aria umida è aumentato ulteriormente nelle ore immediatamente precedenti l'evento quando l'ingresso sul Mediterraneo della saccatura associata ad un profondo vortice di aria fredda in quota ha determinato una forte avvezione di aria subtropicale a grande scala dalle regioni africane, incanalandola verso il Mar Ligure attraverso lo stretto corridoio tirrenico. In questa fase si è venuto quindi a creare un considerevole accumulo di acqua precipitabile sul Mar Ligure, come evidenziato dalla mappa di analisi e previsione a breve termine del modello Moloch riportate in Figura 13 e Figura 14.

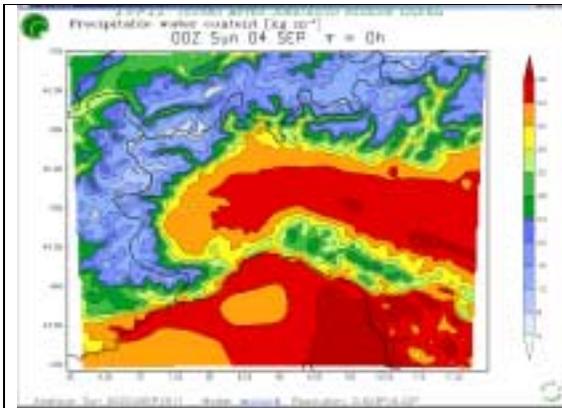


Figura 13 Mappa di Contenuto di acqua precipitabile riferito alle 00 UTC del 4 settembre (analisi del modello MOLOCH inizializzato alle 00 UTC del 4 settembre)

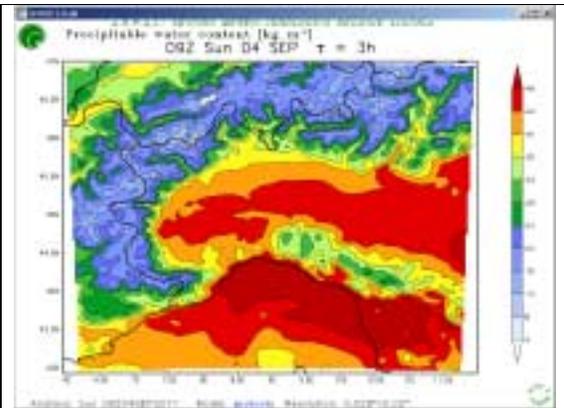


Figura 14 Mappa di Contenuto di acqua precipitabile riferito alle 09 UTC del 4 settembre (previsione a +3h del modello MOLOCH inizializzato alle 06 UTC del 4 settembre)

2. Convergenza: le copiose precipitazioni osservate dapprima sul savonese e successivamente sul Levante della regione possono essere spiegate individuando i processi di convergenza che hanno favorito la concentrazione delle notevoli quantità d'acqua precipitabile disponibili su aree relativamente ristrette. Nello specifico, la creazione di una configurazione di "warm conveyor belt" venutasi a creare nella giornata del 4 settembre con l'ingresso di aria secca sulla parte centrale del bacino, ha favorito da una parte un'intensa avvezione caldo-umida sciroccale incanalata lungo Tirreno, dall'altra un flusso umido da Sud-Ovest determinato dalla formazione di un minimo al suolo tra il Golfo Ligure e il Golfo del Leone. Le due componenti di flusso son risultate convergenti sul Ponente ligure dove hanno determinato i rovesci e temporali intensi e duraturi osservati sul savonese e localmente sull'imperiese (Figura 15).
3. Nella fase finale dell'evento invece, la presenza dell'anomalia ai margini orientali della Liguria e la persistenza del minimo sul Ligure (Figura 12) hanno determinato un continuo flusso di aria umida da Sud-Ovest in un contesto di marcata instabilità accentuata dalla presenta di un low-level jet visibile tra 850 e 700 hPa (Figura 16 e Figura 17), processi risultati determinanti nel generare gli intensi fenomeni precipitativi osservati sulla parte centro-orientale della regione.

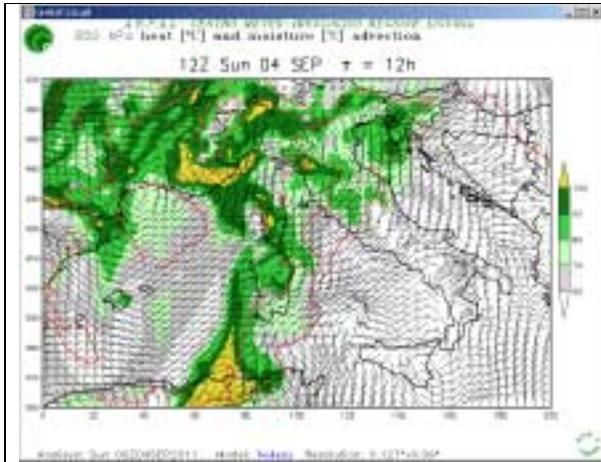


Figura 15 Mappa di avvezione di temperatura e umidità a 850 hPa riferita alle 12 UTC del 4 settembre (previsione a +12h del modello Bolam10 inizializzato alle 00 UTC del 4 settembre). Si evidenzia il corridoio di aria umida e calda esteso dal Nord Africa alla Liguria di Ponente



Figura 16 Mappa di avvezione di temperatura e umidità a 900 hPa riferita alle 12 UTC del 4 settembre (previsione a +12h del modello Bolam10 inizializzato alle 00 UTC del 4 settembre). Si evidenzia il flusso da Sud-Ovest convergente sul levante ligure

In tale scenario, si ritiene che possa aver fornito un contributo energetico importante nello scambio dei flussi di calore anche il Mediterraneo che, nel periodo in esame, evidenziava un'anomalia di temperatura sulla superficie dell'ordine di 1-2 °C.

Si sottolinea infine che, pur essendoci stati dei temporali nel corso dell'evento, l'attività elettrica non è stata particolarmente intensa (Figura 18) e non si sono sviluppati fenomeni organizzati ad esclusione di quello transitato rapidamente sul Levante nella mattinata del 4 settembre: i rovesci intensi e persistenti, infatti, sono risultati il fenomeno dominante ad indicazione che la convezione non è stata profonda, come peraltro evidenziato anche dalle immagini da satellite (Figura 19 e Figura 20).

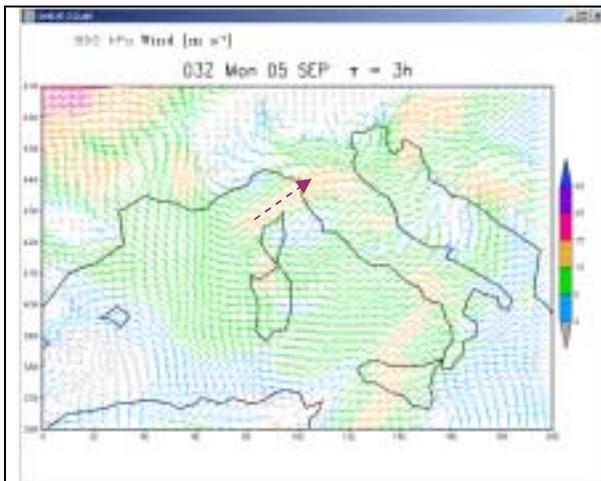


Figura 17 Mappa di vento a 850 hPa riferita alle 03 UTC del 5 settembre (previsione a +3h del modello Bolam10 inizializzato alle 00 UTC del 5 settembre). Si evidenzia il corridoio di aria umida e calda esteso dal Nord Africa alla Liguria di Ponente

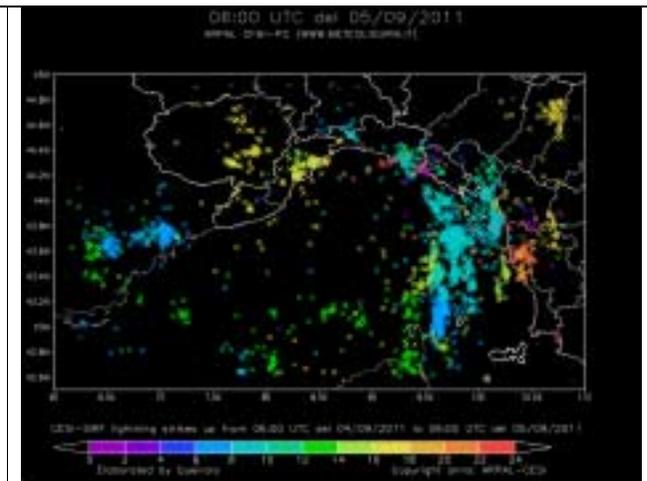


Figura 18 Mappa di fulminazioni registrate dal sistema SIRF (CESI) tra le 06 UTC del 4 settembre e le 06 UTC del 5 settembre (elaborazione CFMI -PC)

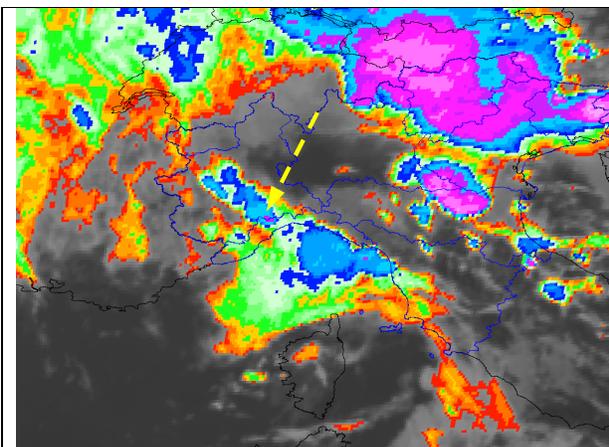


Figura 19 Immagine da satellite MSG riferita alle 15.45 UTC del 4 settembre (canale IR 10.8). In evidenza la singola cella temporalesca responsabile delle intense precipitazioni su Cadibona (SV)

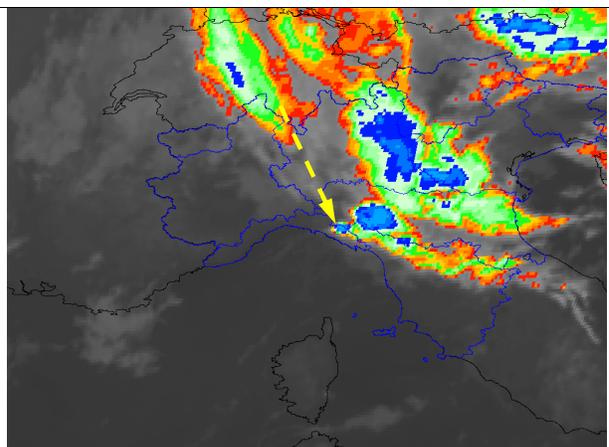


Figura 20 Immagine da satellite MSG riferita alle 3.45 UTC del 5 settembre (canale IR 10.8). In evidenza la struttura nuvolosa (stazionaria) che ha determinato le piogge intense e persistenti in Val di Vara (SP)

2 Dati Osservati

2.1 Analisi Pluviometrica

L'evento ha interessato l'estremo ponente della regione in maniera marginale; le piogge più consistenti si sono registrate su tutto l'arco di centro-levante, a partire da Savona fino a La Spezia. I corsi d'acqua più colpiti sono stati quelli compresi tra Finale Ligure e Savona, il Torrente Petronio a Sestri Levante, la valle dell'Entella e la Val di Vara. I fenomeni registrati sono stati di natura temporalesca e di rovescio sul Centro-Ponente con quantitativi molto elevati a Levante.

2.1.1 Analisi dei dati a scala areale

Dal punto di vista della distribuzione delle precipitazioni l'evento può essere considerato diffuso; ha interessato, infatti, gran parte del Centro-Levante, ed in particolare le zone di allertamento B, E ma soprattutto C, come si può osservare dai valori delle massime altezze medie areali cumulate su diverse finestre temporali, riportate in Tabella 1.

Le precipitazioni sono risultate copiose in una fascia ristretta al confine tra le zone A e B, tra i comuni di Finale Ligure e Savona, comprendente i bacini tra il torrente Pora e il torrente Letimbro. Sulla zona C si sono invece registrate piogge più diffuse e persistenti, in particolare all'interno dei bacini dell'Entella e del Vara e dei torrenti sfocianti a Sestri Levante (torrenti Gromolo e Petronio).

Zona allerta	1h (mm)	3h (mm)	6h (mm)	12h (mm)	24h (mm)	Durata evento (48h)
A	12	29	38	43	46	46
B	7	18	31	53	64	64
C ¹	18	34	65	124	170	171
D	6	16	27	39	42	42
E	16	33	34	59	72	72
C+	16	28	55	105	145	146
C-	22	39	71	126	171	172
Magra	13	29	53	98	133	134

Tabella 1 Media areale della cumulata di pioggia registrata sulle zone di allertamento per diverse durate

¹ Le precipitazioni areali sull'area C vengono calcolate considerando anche le stazioni toscane ricadenti sul bacino del Magra

Di seguito si riportano le mappe di precipitazione cumulata areale relative ai giorni 4-5 Settembre 2011. Tali mappe sono ottenute dai dati puntuali della rete di misura OMI RL (cumulate di precipitazione in 12, 24, 48 ore), mediante algoritmo di interpolazione con l'inverso della distanza al quadrato.

Come si evince dalle mappe e come già esposto in precedenza, le zone di allertamento più colpite risultano la zona C (in particolare l'area compresa tra i bacini dell'Entella e del Vara), la zona di confine tra A e B (entroterra di Savona) e la zona E.

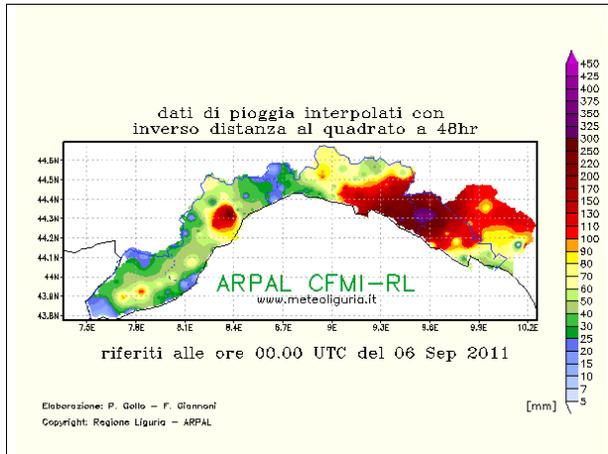


Figura 21 Piogge cumulate in 48 ore tra il 4 ed il 5/09/2011

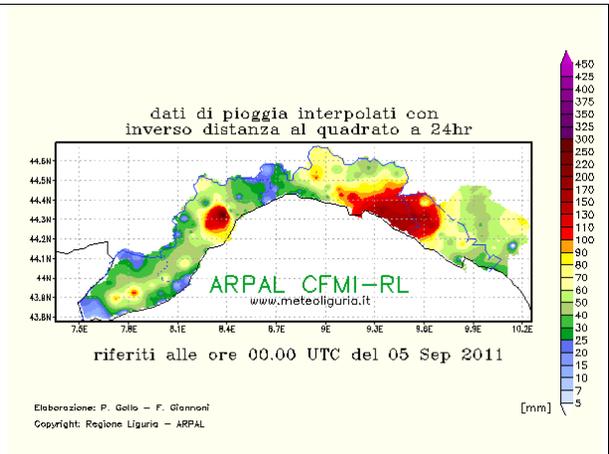


Figura 22 Piogge cumulate in 24 ore il 4/09/2011

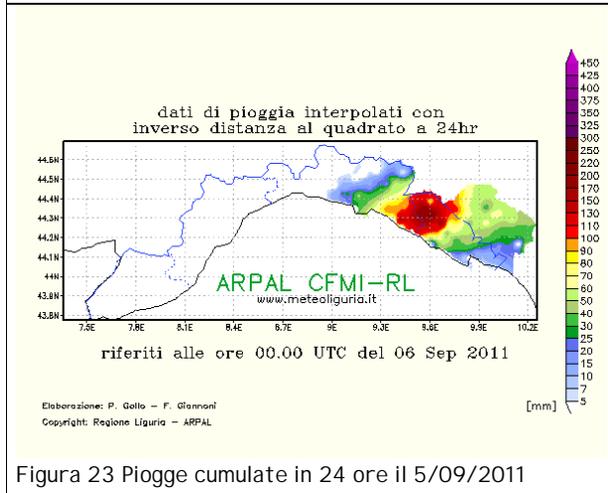


Figura 23 Piogge cumulate in 24 ore il 5/09/2011

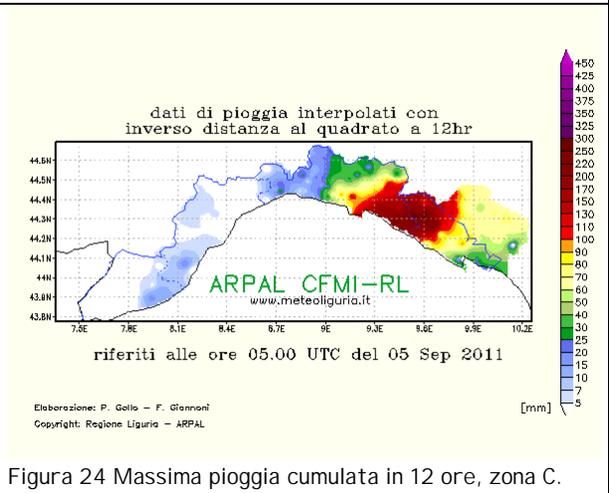


Figura 24 Massima pioggia cumulata in 12 ore, zona C.

Da un'analisi di dettaglio svolta a scala di bacino per le sezioni di Petronio a Sara (56 km²) e Vara a Nasceto (206 km²) emergono quantitativi massimi di precipitazione media molto elevati: 295 mm/24h alle 10.00 UTC del 5 settembre e 230 mm/12h alle 07.00 UTC del 5 settembre per la prima sezione di chiusura; 286 mm/24h alle 10.00 UTC del 5 settembre e 237 mm/12h alle 08.00 UTC del 5 settembre per la seconda sezione. Proprio in questi siti si sono osservati, infatti, gli eventi di piena più importanti, come sarà discusso nel seguito.

2.1.2 Analisi dei dati puntuali

La Tabella 2 contiene i valori massimi PUNTUALI di precipitazione (in mm) registrati nel periodo tra le 00 UTC del 4 e le 00 UTC del 6 settembre 2011, distinti per zone di allertamento e per diverse durate. Sono evidenziati in grassetto i valori massimi registrati su ogni zona, ed in grigio i valori massimi relativi a tutto il territorio regionale. Come si evince dalla tabella, quantitativi molto elevati di precipitazione sono stati registrati sulla zona C, sull'Entella ma soprattutto nel tratto medio-alto del F. Vara e sui bacini del Gromolo e Petronio a Sestri Levante;

risulta inoltre fortemente colpita anche un'area ristretta tra le zone A e B (torrenti Pora, Sciusa, Segno, Quiliano e Letimbro), dove si sono raggiunte intensità molto forti e, su 6 ore, quantitativi molto elevati.

Zona	Stazione	Tot [mm]	Max 5 min [mm]	Max 1 hr [mm]	Max 3 hr [mm]	Max 6 hr [mm]	Max 12 hr [mm]	Max 24 hr [mm]
A	Calice Ligure	165	11 04/09/2011 17.00	77 04/09/2011 17.00	143 04/09/2011 17.00	153 04/09/2011 20.00	162 04/09/2011 20.00	164 05/09/2011 1.00
	Montalto Ligure	105	12 04/09/2011 17.00	75 04/09/2011 17.00	93 04/09/2011 18.00	94 04/09/2011 18.00	105 04/09/2011 18.00	106 04/09/2011 18.00
B	Colle di Cadibona	302	15 04/09/2011 14.00	107 04/09/2011 16.00	223 04/09/2011 16.00	263 04/09/2011 17.00	300 04/09/2011 18.00	302 05/09/2011 0.00
	Colonia Arnaldi	163	6 04/09/2011 11.00	37 04/09/2011 11.00	56 05/09/2011 2.00	83 05/09/2011 2.00	115 05/09/2011 4.00	163 05/09/2011 4.00
	Valleregia	104	9 04/09/2011 10.00	60 04/09/2011 11.00	83 04/09/2011 13.00	83 04/09/2011 13.00	104 04/09/2011 21.00	104 04/09/2011 23.00
	Mignanego	92	10 04/09/2011 10.00	61 04/09/2011 11.00	82 04/09/2011 13.00	83 04/09/2011 13.00	91 04/09/2011 21.00	92 04/09/2011 22.00
C	La Macchia	390	11 05/09/2011 0.00	54 05/09/2011 7.00	116 05/09/2011 7.00	186 05/09/2011 2.00	358 05/09/2011 8.00	389 05/09/2011 11.00
	Tavarone	385	7 04/09/2011 22.00	55 05/09/2011 6.00	111 04/09/2011 23.00	171 05/09/2011 2.00	322 05/09/2011 8.00	384 05/09/2011 10.00
	Monte Domenico	321	8 05/09/2011 5.00	41 05/09/2011 5.00	79 05/09/2011 6.00	127 05/09/2011 0.00	249 05/09/2011 6.00	320 05/09/2011 8.00
	Sesta Godano	319	8 04/09/2011 21.00	51 05/09/2011 6.00	107 05/09/2011 6.00	174 05/09/2011 6.00	290 05/09/2011 8.00	319 05/09/2011 10.00
	Cembrano	316	6 05/09/2011 6.00	50 05/09/2011 7.00	97 05/09/2011 9.00	141 05/09/2011 9.00	264 05/09/2011 8.00	315 05/09/2011 10.00
	Sestri Levante - Sara	250	11 04/09/2011 21.00	62 04/09/2011 22.00	82 04/09/2011 22.00	138 05/09/2011 3.00	219 05/09/2011 5.00	250 05/09/2011 7.00
D	Altare	141	7 04/09/2011 15.00	37 04/09/2011 15.00	84 04/09/2011 17.00	100 04/09/2011 17.00	138 04/09/2011 18.00	141 05/09/2011 5.00
	Mallare	121	11 04/09/2011 16.00	38 04/09/2011 15.00	92 04/09/2011 16.00	117 04/09/2011 19.00	119 04/09/2011 20.00	121 05/09/2011 6.00
E	Barbagelata	100	12 04/09/2011 11.00	29 04/09/2011 12.00	35 04/09/2011 12.00	49 04/09/2011 23.00	77 04/09/2011 22.00	100 05/09/2011 3.00
	Busalla	84	16 04/09/2011 10.00	57 04/09/2011 11.00	74 04/09/2011 13.00	74 04/09/2011 13.00	83 04/09/2011 22.00	84 04/09/2011 22.00

Tabella 2 Valori massimi PUNTUALI di precipitazione registrati dai pluviometri della rete OMIRL nel periodo tra le 00 UTC del 4/9/2011 e le 00 UTC del 6/9/2011, distinti per zone di allertamento e per diverse durate.

Si riportano di seguito gli ietogrammi significativi relativi ad alcune stazioni che hanno registrato i valori massimi puntuali. Le intensità di pioggia, valutate in base alle cumulate su 1 e 3 ore, e le quantità, valutate in base alle cumulate su 6, 12 e 24 ore, sono state definite in accordo con le soglie definite dal CFMI -PC.

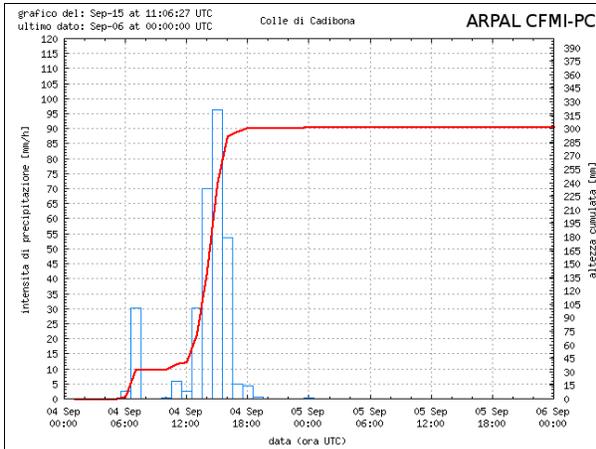


Figura 25 Ietogramma e cumulata a Colle di Cadibona (B)
INTENSITA': (mm/1h, mm/3h) molto forti
QUANTITA': (mm/6h, mm/12h, mm/24h) molto elevate

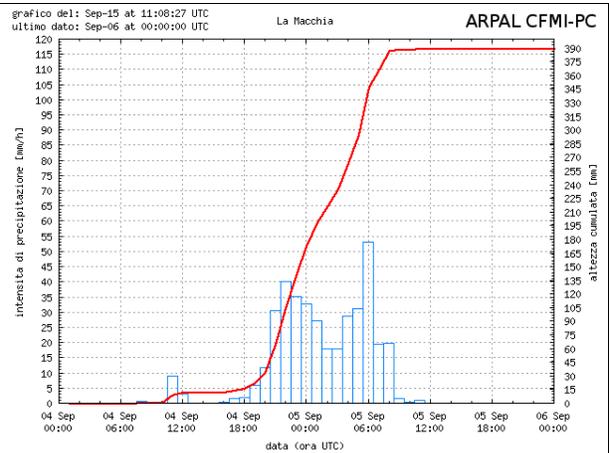


Figura 26 Ietogramma e cumulata a La Macchia (C)
INTENSITA': (mm/1h, mm/3h) molto forti
QUANTITA': (mm/6h, mm/12h, mm/24h) molto elevate

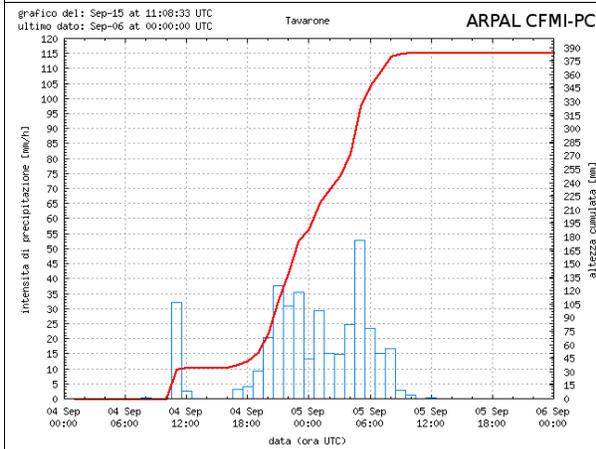


Figura 27 Ietogramma e cumulata a Tavarone (C)
INTENSITA': (mm/1h, mm/3h) molto forti
QUANTITA': (mm/6h, mm/12h, mm/24h) molto elevate

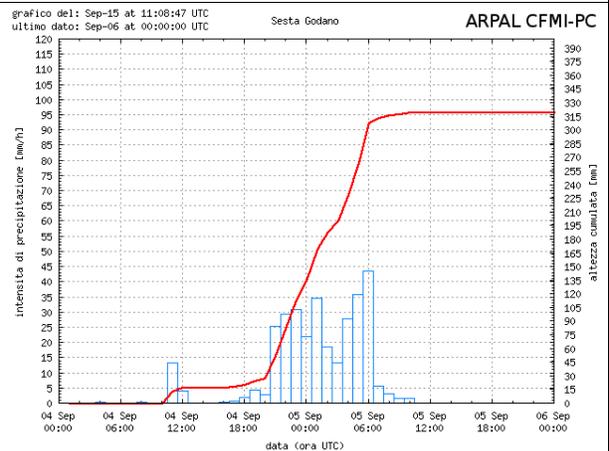


Figura 28 Ietogramma e cumulata a Sesta Godano (C)
INTENSITA': (mm/1h, mm/3h) molto forti
QUANTITA': (mm/6h, mm/12h, mm/24h) molto elevate

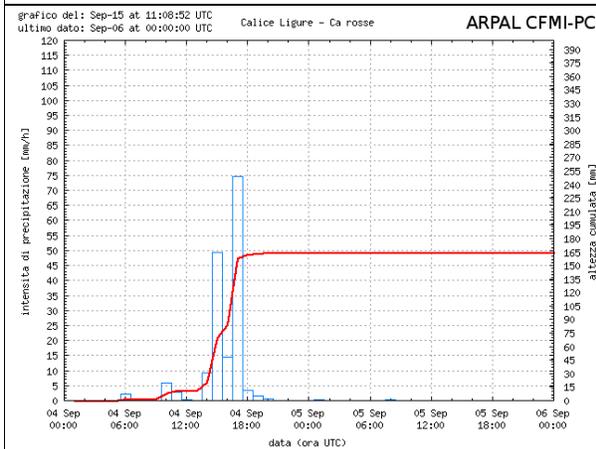


Figura 29 Ietogramma e cumulata a Calice Ligure (A)
INTENSITA': (mm/1h, mm/3h) molto forti
QUANTITA': (mm/6h, mm/12h, mm/24h) molto elevate

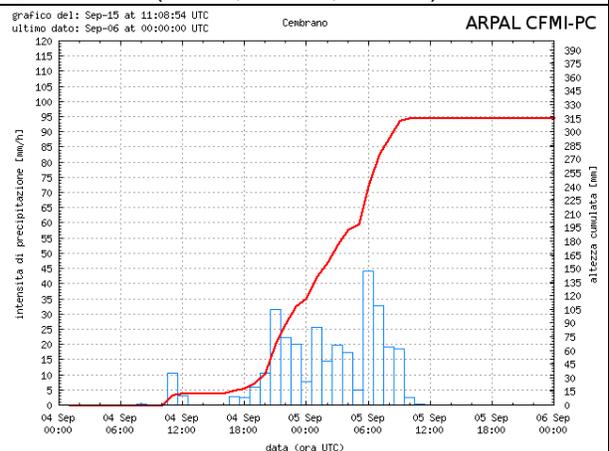


Figura 30 Ietogramma e cumulata a Cembrano (C)
INTENSITA': (mm/1h, mm/3h) molto forti
QUANTITA': (mm/6h, mm/12h, mm/24h) molto elevate

Dall'analisi delle figure si può notare come le precipitazioni siano state di intensità molto forti, con quantitativi molto elevati già a partire dalle cumulate in 6 ore. Appare anche evidente che l'evento si sia sviluppato secondo due modalità differenti:

- ✓ su A, D e parte orientale di B le precipitazioni, verificatesi a partire dalle 6 UTC del 4 settembre per una durata complessiva di circa 12 ore, hanno avuto un forte carattere temporalesco e di rovescio presentando, seppur su un'area ristretta, le intensità maggiori rilevate sul territorio regionale (nella zona B, a Colle di Cadibona si sono registrati 107 mm/1 h e 223 mm/3h mentre nella zona A, a Calice Ligure 77 mm/1 h e 143 mm/3h);
- ✓ sulla parte orientale di B, su C e su E le precipitazioni, verificatesi a partire dalle ore centrali del 4 settembre, pur mantenendo la forte connotazione temporalesca e di rovescio, si sono protratte fino alle 9 UTC del 5 settembre, raggiungendo quantitativi di precipitazione, cumulati su 12 e 24 ore, molto elevati sulla maggior parte delle stazioni ricadenti sui bacini dell'Entella, Gromolo, Petronio e Vara.

L'analisi statistica delle precipitazioni osservate ai pluviometri di Colle di Cadibona (zona B) e La Macchia (zona C) (Tabella 3) conferma tale interpretazione: nel primo caso la frequenza di accadimento delle massime intensità per brevi durate risulta molto bassa; in particolare per la durata di 3 ore il tempo di ritorno associato risulta molto maggiore di 500 anni. L'analisi congiunta del relativo ietogramma (Figura 25) mostra infatti che tra le 13 e le 16 UTC del 4 settembre le intensità orarie sono risultate anche molto superiori ai 50 mm/1h. Per durate maggiori i tempi di ritorno tornano a diminuire e la bassa frequenza di accadimento deriva principalmente dai valori molto forti osservati nella finestra di durata trioraria già descritta.

Nel caso del pluviometro di La Macchia si sono registrati i massimi quantitativi di precipitazione, a scala regionale, per le durate di 12 e 24 ore: le frequenze di accadimento associate risultano molto basse ed in particolare per la durata di 12 h il tempo di ritorno risulta molto maggiore di 500 anni. L'analisi congiunta del relativo ietogramma (Figura 26) mostra, infatti, che tra le 20 UTC del 4 settembre e le 8 UTC del giorno successivo la persistenza di intensità orarie mediamente moderate (per lo più inferiori ai 35 mm/h) ha prodotto quantitativi sulle 12 ore estremamente elevati (358 mm/12h); per la durata di 24 h il tempo di ritorno torna a diminuire per i motivi già evidenziati.

Si precisa che la scelta di indicare solo una soglia inferiore, pari a 500 anni, deriva dal fatto che la quantificazione di un tempo di ritorno specifico, indipendentemente dal metodo adottato, porterebbe a valori poco significativi a causa dell'eccessiva ampiezza delle fasce di confidenza. L'incertezza nella stima dei tempi di ritorno diventa sempre più elevata quanto più l'evento è raro, in quanto le serie temporali di dati disponibili per le valutazioni statistiche superano raramente i 50 anni. Si ritiene perciò che per tempi di ritorno superiori ai cento anni il valore numerico di tempo di ritorno sia solo un indice di rarità.

durata	Stazione [zona di allertamento]	Valore registrato [mm]	Tempo di ritorno ² (anni)
1h	Colle di Cadibona (B)	107	200
3h		223	>>500
6h		263	>500
12h		300	250
24h		302	60
1h	La Macchia (C)	54	7
3h		116	30
6h		186	90
12h		358	>>500
24h		389	250

Tabella 3 Tempi di ritorno delle massime intensità puntuali registrate durante l'evento per diverse durate

² Stima da procedura di regionalizzazione del CIMA

2.2 Analisi idrometrica e delle portate

In seguito alle precipitazioni sopra descritte si sono registrati innalzamenti significativi dei livelli idrici dei corsi d'acqua delle zone di allerta interessate dall'evento. I valori più significativi sono riportati in Tabella 4

Bacino e sezione	[zona allerta]	Livello idrometrico ³ massimo osservato [m]	Incremento di livello massimo osservato [m]
Letimbro a Santuario	B	1.8	1.84
Entella a Panesi	C	1.94	3.3
Petronio a Sara	C	3.19	3.21
Vara a La Macchia	C	1.27	0.71
Vara a Nasceto	C	5.5	5.15
Vara a Piana Battolla	C	1.2	2.54
Magra a Calamazza	C	1.7	1.5
Magra a Fornola	C	2.93	3.1

Tabella 4 Livelli idrometrici significativi registrati agli idrometri delle zone B e C.

L'analisi è stata svolta per le sole zone di allertamento interessate dall'evento; nella zona B non si sono osservati innalzamenti significativi ad esclusione della ridotta fascia litoranea già menzionata, al confine con A, (torrenti Pora e Sciusa nella zona A e torrenti Segno, Quiliano e Letimbro).

Le precipitazioni particolarmente intense che hanno interessato le alture di Savona hanno prodotto sul torrente Letimbro (52 km²) un repentino innalzamento del livello idrico (Figura 31) poco più di un'ora dopo il massimo scroscio precipitativo registrato a Colle di Cadibona. Piene significative si sono contemporaneamente osservate all'interno dei corsi d'acqua limitrofi che presentano analoghe dimensioni (torrente Pora, 59 km², e T. Quiliano, 52 km²). Per contro, già a partire da Albissola, la risposta idrologica del territorio è stata nettamente più contenuta (il livello del T. Sansobbia è rimasto pressoché invariato), ad ulteriore conferma che l'evento in questione è rimasto confinato su un'area piuttosto ristretta.

Sulla zona di allertamento E, sebbene la massima cumulata media areale sia stata di circa di 60 mm/12h, non si sono riscontrati innalzamenti di rilievo nei punti strumentati (Aveto a Cabanne e Vobbia a Vobbietta).

Sulla zona C il fenomeno di maggior rilievo è stato il notevole innalzamento dei torrenti sfocianti a Sestri Levante, in particolare il torrente Petronio che, in corrispondenza dell'idrometro di Pozzo Sara, ha registrato un livello massimo di 3.19 m (con un franco di mezzo metro rispetto all'intradosso dell'impalcato), valore mai raggiunto dal 2002, anno di installazione del sensore ad ultrasuoni: il valore massimo registrato in precedenza era stato infatti di 1.70 m, livello raggiunto durante l'evento del 24 dicembre 2009.

Sulla base delle testimonianze raccolte sul campo il 5 settembre 2011 durante misure di portata, a detta dei residenti, la piena risulta paragonabile al grave evento alluvionale occorso nella notte tra il 20 ed il 21 settembre 1979. In tale occasione il pluviografo di Castiglione Chiavarese registrò, un valore dell'altezza di pioggia pari a 109,4 mm in tre ore (paragonabile alla durata critica del bacino), a cui corrisponde un tempo di ritorno di circa 30 anni. A Tavarone (a qualche chilometro da Castiglione, sebbene la stazione sia posta dopo lo spartiacque Petronio-Vara) si sono osservate nel corso dell'evento in esame intensità confrontabili (111 mm/3h con analogo frequenza di accadimento).

Come in occasione dell'evento del 1979 le zone più colpite, anche se in minor misura, risultano le stesse, tra il Ponte di Battilana (in comune di Casarza Ligure) e la foce del T. Petronio: nonostante le opere di sistemazione del reticolo idrografico, a causa dell'incremento di urbanizzazione, le zone in questione restano tuttora vulnerabili.

Sulla zona di allertamento C si sono inoltre rilevati significativi innalzamenti dei livelli idrometrici nel fiume Entella ma soprattutto nel tratto medio-alto del fiume Vara, nel corso dell'intervallo di 12 ore in cui si sono registrati i massimi quantitativi di precipitazione (125 mm/12h medi areali alle 5 UTC del 5 settembre 2011). In particolare nella sezione di Vara a Nasceto, dall'inizio delle evento, si è osservato un incremento di livello di 5.15 m (Figura 35).

³ Il livello idrometrico è un valore convenzionale che può assumere valori negativi; pertanto assume maggior significato il valore dell'incremento di livello osservato (rispetto ad una quota standard definita "zero idrometrico")

In tale sezione il livello massimo raggiunto in occasione del transito del colmo di piena (5.5 m rispetto allo zero idrometrico) risulta considerevole; basti osservare che, a partire dal 2000, è stato superato solo in occasione degli eventi del 20 gennaio 2009 e del 23-24 dicembre 2009, in cui si sono registrati rispettivamente 5.86 m e 5.85 m rispetto allo zero idrometrico. Tale innalzamento è tanto più importante rispetto agli eventi di dicembre 2009 considerate le ridotte condizioni di bagnamento del terreno, dato il lungo periodo di siccità che ha preceduto l'evento.

Le precipitazioni molto elevate che hanno interessato il tratto medio-alto del fiume Vara non hanno tuttavia prodotto conseguenze nella parte terminale del Magra, a valle della confluenza del Vara, a causa del ridotto contributo del bacino del Magra toscano, all'interno del quale i quantitativi di pioggia osservati, per durate maggiori di 6 ore, sono risultati al più elevati.

Il contributo irrilevante apportato dal fiume Magra, parte toscana, risulta evidente anche dall'osservazione qualitativa dell'andamento nel tempo del livello idrometrico osservato a Calamazza, caratterizzato da incrementi piuttosto contenuti (Figura 37).

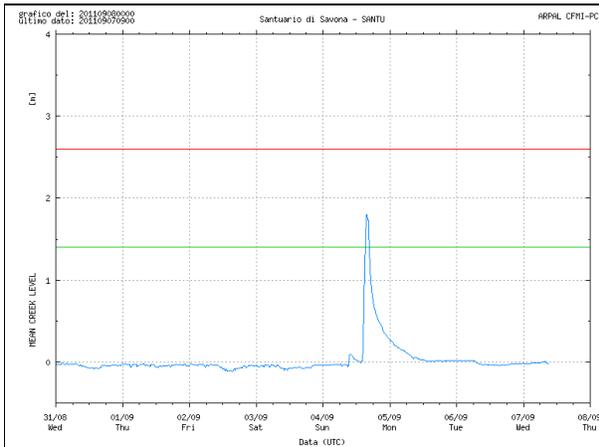


Figura 31 Livello idrometrico (Letimbro a Santuario)

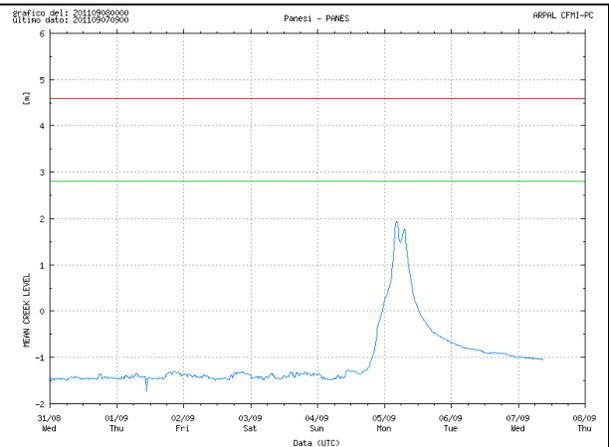


Figura 32 Livello idrometrico (Entella a Panesi)

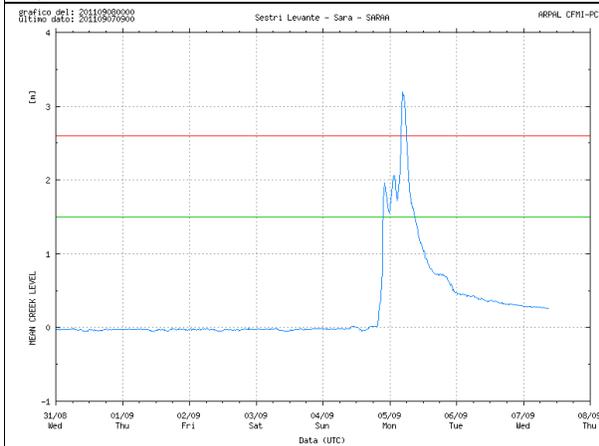


Figura 33 Livello idrometrico (Petronio a Sara)

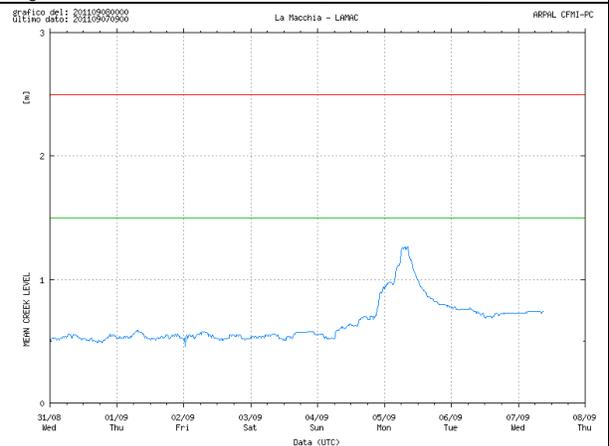


Figura 34 Livello idrometrico (Vara a La Macchia)

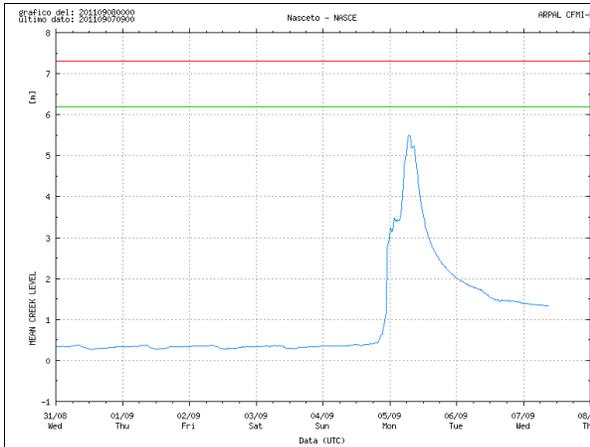


Figura 35 Livello idrometrico (Vara a Nasceto)

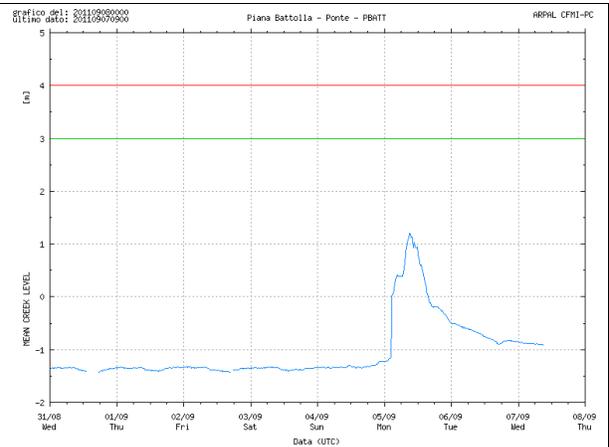


Figura 36 Livello idrometrico (Vara a Piana Battolla)

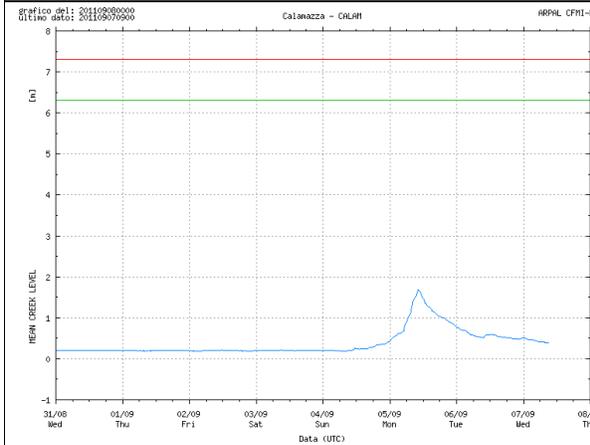


Figura 37 Livello idrometrico (Magra a Calamazza)

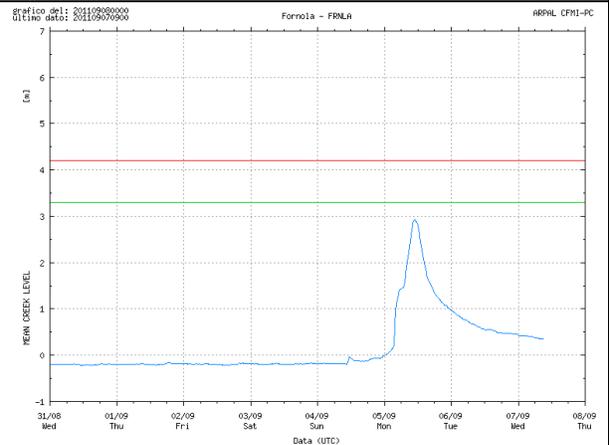


Figura 38 Livello idrometrico (Magra a Fornola)

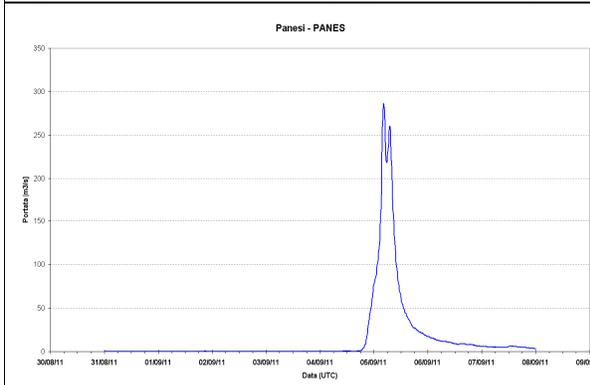


Figura 39 Portata (Entella a Panesi)

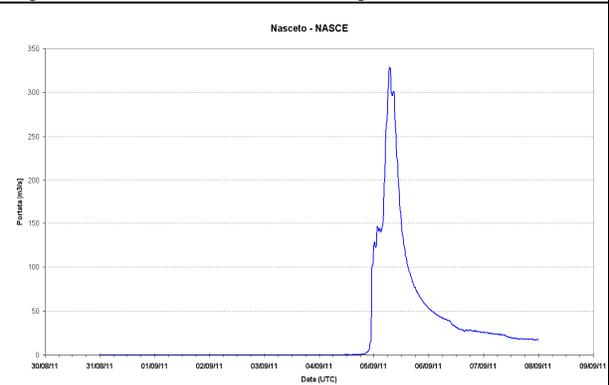


Figura 40 Portata (Vara a Nasceto)

Applicando la scala di deflusso al fine di ottenere una stima dei volumi d'acqua transitati su alcune sezioni note dei corsi d'acqua interessati dalle precipitazioni, si nota come l'evento abbia prodotto una portata al colmo di piena di circa 260-320 m³/s a Panesi (Figura 39) e di circa 300-360 m³/s a Nasceto (Figura 40).

Nella sezione di Panesi i massimi volumi transitati rappresentano una portata di morbida/piena, prodotta principalmente dall'apporto dei bacini del Graveglia, dello Sturla e, in minor misura, del torrente Lavagna, come si può evincere dalla mappa della massima precipitazione sulle 12 ore (Figura 24).

La portata al colmo di piena transitata nella sezione di Nasceto risulta tanto più rilevante se confrontata, in termini di contributo unitario, con quella stimata alla foce dell'Entella: nel primo caso infatti il contributo unitario risulta il doppio di quello relativo alla sezione di Panesi (1.60 m³/s per km² a Nasceto contro 0.80 m³/s per km² a Panesi).

2.3 Analisi anemometrica

Nel corso dell'evento le intensità di vento registrate dalle stazioni della rete di misura OMIRL non hanno evidenziato valori significativi. Nella mattinata del 4 settembre il flusso è stato prevalentemente sciroccale. Dal pomeriggio le correnti si sono disposte da Sud-Ovest rinforzando fino a moderate al largo (le ship in transito hanno registrato venti di circa 40-55 km/h). L'unico valore degno di menzione è stato registrato a Capo Mele dove alle 15.55 UTC il vento medio massimo ha raggiunto i 42 km/h da Sud con una raffica di 63 km/h.

2.4 Mare

Il moto ondoso non ha dato luogo a particolari criticità essendo risultato poco mosso per buona parte della giornata del 4 settembre (altezza d'onda significativa misurata alla Boa di La Spezia tra 0.3 e 0.7 m). Nel corso della serata del 4 settembre, in seguito all'instaurarsi di un moderato gradiente sud-occidentale, la stessa boa ha registrato un rapido incremento dell'altezza d'onda fino a 1.7-1.8 m, valore mantenutosi pressoché invariato anche nella giornata successiva del 5 settembre.

2.5 Effetti al suolo e danni rilevanti

Le zone più colpite dalle precipitazioni sono state, a Ponente, l'entroterra tra Finale Ligure e Savona (torrenti Pora, Sciusa, Segno, Quiliano e Letimbro) e, a Levante, il Tigullio (in particolare il T. Graveglia e parte dell'Entella a Ne e Cogorno, i torrenti Gromolo e Petronio a Sestri Levante e Casarza) nonché il tratto medio-alto del fiume Vara, dove non si sono registrate però segnalazioni di danni data la scarsa urbanizzazione.

Le informazioni fornite dai mass media possono essere sintetizzate come segue:

Nel pomeriggio di domenica 4 settembre si sono verificate frane e smottamenti diffusi tra Finale Ligure e Savona, soprattutto sulla SP 29 e nella frazione Cadibona di Quiliano, rimasta isolata per più di due ore.

I torrenti di Finale Ligure (Pora e Sciusa) ed il Letimbro in località Orso hanno raggiunto i livelli di guardia minacciando lo straripamento.

Una frana lungo la strada provinciale n. 227 in comune di Santa Margherita, località Cervara, ha isolato Portofino dalla notte di domenica a lunedì pomeriggio.

Sono stati segnalati allagamenti in box e scantinati in località Panesi nel comune di Cogorno, a seguito dello straripamento del piccolo rio Rondanea, causato dal crollo in alveo di massi ed alberi.

Frane o allagamenti hanno interessato il comune di Cogorno: la frazione di Breccanecca è rimasta isolata da uno smottamento; in Val Graveglia si sono verificate quattro frane in comune di Ne e nelle frazioni I scioi e Sambuceto. Altre frane e smottamenti sono state segnalate a Casarza, in particolare nelle frazioni di Bargone e Cardini.

Ad oggi sono pervenute al Settore Protezione Civile ed Emergenza di Regione Liguria unicamente le segnalazioni di danni da parte dei comuni di Sestri Levante e Casarza Ligure:

- il comune di Sestri Levante comunica il crollo di 200 m di argine in sponda sinistra del T. Gromolo in località Bocca di Valle (S. Vittoria di Libiola);
- il comune di Sestri Levante comunica l'erosione della fondazione del muro d'argine per circa 80 m a valle della SS1 in sponda destra del T. Petronio;
- il comune di Casarza segnala danni diffusi alla viabilità pubblica, con isolamento di alcune frazioni, ad infrastrutture ed edifici pubblici e privati.

3 Conclusioni

Tra il 4 ed il 5 settembre la Liguria è stata interessata da condizioni di forte instabilità legate al transito di un'anomalia alla tropopausa, che hanno favorito lo sviluppo di fenomeni temporaleschi molto intensi e stazionari sul Centro-Levante della regione.

Le precipitazioni più abbondanti hanno interessato l'entroterra tra Finale Ligure e Savona e tutta la zona di allertamento C dove si sono osservate rispettivamente le massime intensità e quantità di precipitazione.

In particolare il pluviometro di Cadibona, sul torrente Quiliano (B), ha registrato le massime intensità di precipitazione (107 mm/h e 223 mm/3h) mentre la stazione di La Macchia, nella parte alta del fiume Vara (C), le massime quantità di pioggia (358 mm/12h e 389 mm/24h).

Nella zona di allertamento C durante tutto l'evento si è registrata una cumulata areale di precipitazione di 170 mm: nella porzione di territorio compresa tra bacino dell'Entella ed il Magra, le valli maggiormente colpite sono state

quelle del Graveglia, in parte dello Sturla, di Gromolo e Petronio e soprattutto la val di Vara dove però non si sono osservate particolari criticità, dato il limitato livello di urbanizzazione.

I livelli idrometrici registrati hanno mostrato decisi innalzamenti, coerentemente con le precipitazioni osservate. Gli innalzamenti più significativi si sono registrati agli idrometri di Nasceto (F. Vara) e Sara (T. Petronio) con incrementi di livello intorno ai 3-5 metri. Si sono verificate portate consistenti, prossime all'esondazione, nei bacini dell'entroterra tra Finale Ligure e Savona, di Sestri Levante e nel reticolo dell'Entella e del Vara.

Contemporaneamente si sono verificate diverse frane nell'entroterra di Savona, in Val Graveglia e nei comuni di Casarza e Sestri Levante.

LEGENDA

a) Definizione dei limiti territoriali delle zone di allertamento:



b) Soglie di precipitazione puntuale:

Durata		INTENSITA' (basata su tempi di ritorno 2-5 anni)			
		deboli	moderate	forti	Molto forti
	mm/1h	<10	10-35	35-50	>50
	mm/3h	<15	15-55	55-75	>75

Durata		QUANTITA' (basata su tempi di ritorno 1-4 anni)			
		scarse	significative	elevate	molto elevate
	mm/6h	<20	20-40	40-85	>85
	mm/12h	<25	25-50	50-110	>110
	mm/24h	<30	30-65	65-145	>145

NB: la precipitazione viene considerata tale se > 0.5 mm/24h (limite minimo)

c) Grafici dei livelli idrometrici:

Le linee verde e rossa riportate sui grafici degli idrogrammi e delle portate indicano rispettivamente:

Linea verde (PIENA ORDINARIA): la portata transita occupando interamente l'alveo del corso d'acqua con livelli localmente inferiori alla quota degli argini o del piano campagna. Possono instaurarsi i primi fenomeni di erosione delle sponde con inondazioni localizzate in aree limitrofe all'alveo.

Linea rossa (PIENA STRAORDINARIA): la portata non può transitare contenuta nell'alveo determinando fenomeni di inondazione.