

## 11

## CLIMATOLOGIA

ADRIANO BARBI<sup>1</sup>, MARCO MONAI<sup>1</sup>, ROBERTA RACCA<sup>1</sup>, FRANCESCO RECH<sup>1</sup>**11.1. GENERALITÀ**

Il clima viene tradizionalmente considerato come lo stato medio dell'atmosfera in una determinata località riferito a un lungo periodo di tempo (fissato convenzionalmente in un trentennio). Le caratteristiche climatiche di una certa zona sono il risultato dell'interazione fra le componenti meteorologiche e quelle geo-topografiche riscontrabili nel territorio in esame. Formulazioni più moderne e raffinate definiscono il clima come sintesi delle distribuzioni di probabilità dei fenomeni meteorologici, misurabili mediante la determinazione delle frequenze degli eventi registrati in passato.

In questo capitolo viene presentato un inquadramento delle principali caratteristiche climatiche della provincia di Venezia sulla base di un precedente lavoro commissionato nel 2001 dalla Provincia di Venezia all'ARPAV – Centro Meteorologico di Teolo.

Nel presente studio si troverà una preliminare sintesi delle caratteristiche generali del clima in Veneto e nella provincia di Venezia, cui seguiranno delle analisi più approfondite relative alle principali variabili meteorologiche registrate sul territorio in esame e osservando la loro distribuzione spaziale.

Per quanto riguarda, in particolare, le analisi dei *valori medi di temperatura e precipitazione*, esse sono riferite al trentennio 1971÷2000; gli *eventi di precipitazione intensa* invece sono stati analizzati, secondo un approccio probabilistico, sulla base dei dati raccolti dalla rete ARPAV nel periodo 1992÷2010. Infine, per quanto concerne i *venti*, si sono analizzati sia i dati medi, in termini di velocità e direzione prevalente (rose dei venti), sia i dati massimi di raffica giornaliera registrati presso alcune stazioni della rete ARPAV rappresentative del territorio provinciale.

**11.2. CARATTERISTICHE GENERALI DEL CLIMA VENETO E DELLA PROVINCIA DI VENEZIA**

Il clima del Veneto, pur rientrando nella tipologia mediterranea, presenta proprie peculiarità, dovute principalmente al fatto di trovarsi in una posizione climatologicamente di transizione, sottoposta per questo a varie influenze: l'azione mitigatrice delle acque mediterranee, l'effetto orografico della catena alpina e la continentalità dell'area centro-europea. In ogni caso sono molto attenuate alcune delle caratteristiche tipicamente mediterranee, quali l'inverno mite e la siccità estiva.

Nel territorio della provincia di Venezia, che si estende lungo la fascia costiera dell'Alto Adriatico, dalla foce

del Tagliamento a nord a quella dell'Adige a sud, si possono distinguere in particolare due grandi zone, contraddistinte da caratteristiche climatiche diverse a causa della differente azione che esercita il mare su tali territori: la zona litoranea, più prossima al mare, e la zona interna, con caratteristiche più simili a quelle della pianura continentale.

Nella zona litoranea l'azione mitigatrice delle acque risulta però limitata: da una parte in quanto si è in presenza di un mare interno, stretto e poco profondo, dall'altra per la loro posizione, in grado di mitigare solo le masse d'aria provenienti dai settori sud-orientale e orientale. Così le temperature invernali, pur mitigate, risultano comunque basse, in particolare per le incursioni della bora, fredda e asciutta da nord-est. Inoltre la fascia litoranea è caratterizzata dall'alternanza di brezze tipiche del periodo caldo in situazioni prevalentemente anticicloniche.

La zona interna comprende quelle aree della provincia di Venezia più distanti dalla costa, che corrispondono ai comprensori più interni del portogruarese, a nord-est, del miranese e della riviera del Brenta, a ovest. In queste aree l'azione mitigatrice del mare diventa meno significativa accentuando quelle caratteristiche climatiche più tipiche della pianura veneta. Tale zona è quindi contraddistinta da un clima di tipo un po' più continentale, con estati leggermente più calde e inverni leggermente più rigidi rispetto alle zone litoranee. La ventilazione risulta mediamente più limitata soprattutto nei regimi di brezza del periodo caldo, mentre sul fronte delle precipitazioni in estate vi sono temporali piuttosto frequenti e spesso grandinigeni. Prevale in inverno una situazione di inversione termica che, accentuata da una ventosità più limitata, favorisce l'accumulo dell'umidità, che dà luogo alle nebbie, e l'aumento della concentrazione degli inquinanti rilasciati al suolo, che arrivano di frequente a valori elevati nelle aree urbane.

Tipiche peculiarità del clima della provincia di Venezia sono:

- la nebbia, presente soprattutto nei mesi autunnali e invernali, anche se nell'area costiera può manifestarsi pure nella prima della primavera;
- l'afa nei mesi estivi;
- l'attività temporalesca, specie in estate e inizio autunno, associata a precipitazioni intense, talvolta anche grandinogene e, seppur più raramente, anche a trombe d'aria;
- i venti di Bora e di Scirocco.

<sup>1</sup> ARPAV, Dipartimento Sicurezza del Territorio - Centro Meteorologico di Teolo (PD).

### 11.3. ANALISI DEI DATI

Lo studio delle caratteristiche meteo-climatiche del territorio della provincia di Venezia è stato eseguito attraverso l'analisi e l'elaborazione dei principali parametri meteorologici registrati dalle stazioni disponibili, anche in territori esterni alla provincia. L'indagine ha riguardato in particolare i dati medi di precipitazione e temperatura per il periodo 1971÷2000 (trentennio di riferimento climatico) utilizzando sia i dati provenienti dalle serie storiche disponibili e in gran parte appartenenti alla rete di stazioni dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), sia dalla serie di dati della rete ARPAV. Per le precipitazioni di massima intensità e per il vento sono stati analizzati i dati raccolti dalla rete regionale di monitoraggio del Centro Meteorologico di Teolo, attiva dal 1992, in quanto per il trentennio 1971÷2000 i dati di ventosità non sono disponibili (se non per la sola stazione di Venezia), mentre per le precipitazioni di massima intensità i dati storici non presentano una continuità e una distribuzione sul territorio ritenuti accettabili.

Relativamente alle caratteristiche pluviometriche e termometriche, si sono voluti rappresentare i principali risultati delle elaborazioni eseguite attraverso delle carte di distribuzione delle precipitazioni e delle temperature, valide per il territorio provinciale. Per la costruzione delle carte di distribuzione si è fatto ricorso al calcolo dei valori di interesse a livello puntuale (medie mensili, stagionali o annue calcolate su tutte le stazioni disponibili del territorio regionale) con successiva estensione areale mediante interpolazione spaziale (secondo la metodologia del *kriging*) e focalizzazione dei risultati sul solo territorio della provincia di Venezia.

Nella Fig. 11.1 viene rappresentato un esempio di stazione meteorologica dell'ARPAV, mentre nella Fig. 11.3 sono raffigurati i sensori delle stazioni meteorologiche ARPAV relativamente alle caratteristiche dei pluviometri per la misura della precipitazione.



Fig. 11.1 - Esempio di stazione meteorologica: foto della stazione di Cavallino Treporti (fonte: ARPAV).

### 11.4. PRECIPITAZIONI

#### 11.4.1. Precipitazioni medie annuali e stagionali

Per valutare l'andamento delle precipitazioni nel corso dell'anno sono stati analizzati i dati disponibili delle cumulate medie di pioggia a livello annuale e stagionale per il trentennio 1971÷2000 (Figg. 11.2A e 11.2B).



Fig. 11.2A - Localizzazione delle stazioni meteorologiche ARPAV utilizzate per l'analisi delle precipitazioni medie registrate sul territorio provinciale nel periodo 1971÷2000.



Fig. 11.2B - Localizzazione delle stazioni meteorologiche storiche dell'ex Servizio Idrografico utilizzate per l'analisi delle precipitazioni medie registrate sul territorio provinciale nel periodo 1971÷2000.



Fig. 11.3 - Sensori della stazione meteorologica: foto e caratteristiche del pluviometro per la misura della precipitazione (fonte: ARPAV).

Il regime pluviometrico annuo in provincia di Venezia può considerarsi, come per gran parte del territorio regionale, assimilabile al tipo “equinoziale”, con due massimi ratei di pioggia mediamente presenti tra la primavera e l’inizio dell’estate, nonché nei mesi autunnali (Fig. 11.4). La stagione più secca è solitamente l’inverno mentre in estate, normalmente, non si registrano periodi di forte siccità grazie alle precipitazioni di origine convettiva (temporali) che però risultano spesso intense e di breve durata.

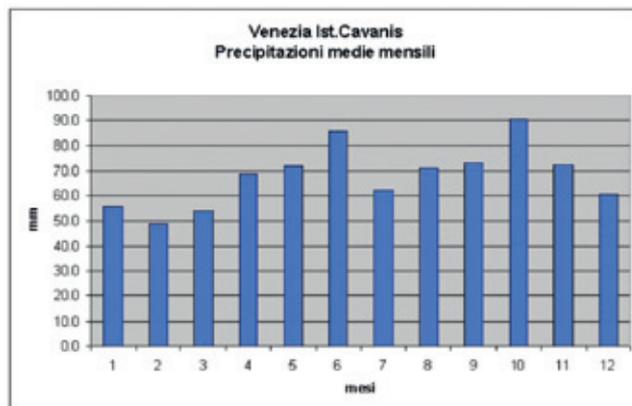


Fig. 11.4 - Precipitazioni medie mensili riferite alla stazione di Venezia - Istituto Cavanis, per il periodo 1971÷2000.

In particolare i mesi mediamente più piovosi sul territorio provinciale sono rappresentati da settembre-ottobre-novembre e da maggio-giugno, mentre quelli meno piovosi da gennaio-febbraio.

La precipitazione media annua, considerando i dati del periodo 1971÷2000 (Fig. 11.5), evidenzia una distribuzione sul territorio provinciale crescente dai 700-800 mm riscontrabili sui settori più meridionali ai 900-1100 mm delle zone più nord-orientali. L’inverno, come detto, si conferma come la stagione mediamente più secca con valori in prevalenza compresi tra 150 e 200 mm (Fig. 11.6). In primavera cadono in media tra i 175 e i 225 mm su gran parte della provincia, con

locali valori compresi tra 150 e 175 mm sulle zone più meridionali e superiori ai 225 mm su alcune zone più settentrionali (Fig. 11.7). Durante l’estate si registrano in media cumulate comprese in prevalenza tra 200 e 250 mm (Fig. 11.8), mentre in autunno i quantitativi totali raggiungono mediamente i 200-250mm su gran parte dei settori centro-meridionali e i 250-325 mm su quelli più nord-orientali (Fig. 11.9).

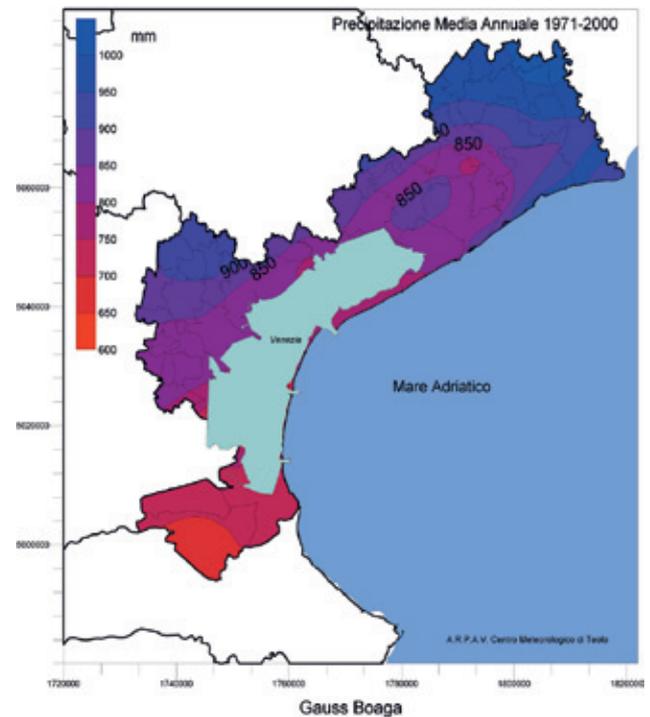


Fig. 11.5 - Carta della precipitazione media annuale.

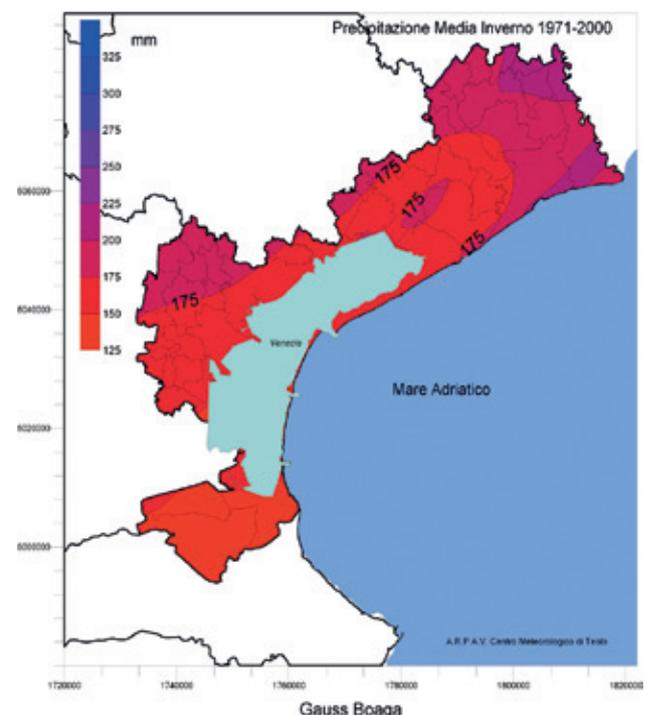


Fig. 11.6 - Carta della precipitazione media invernale (Dic-Gen-Feb).

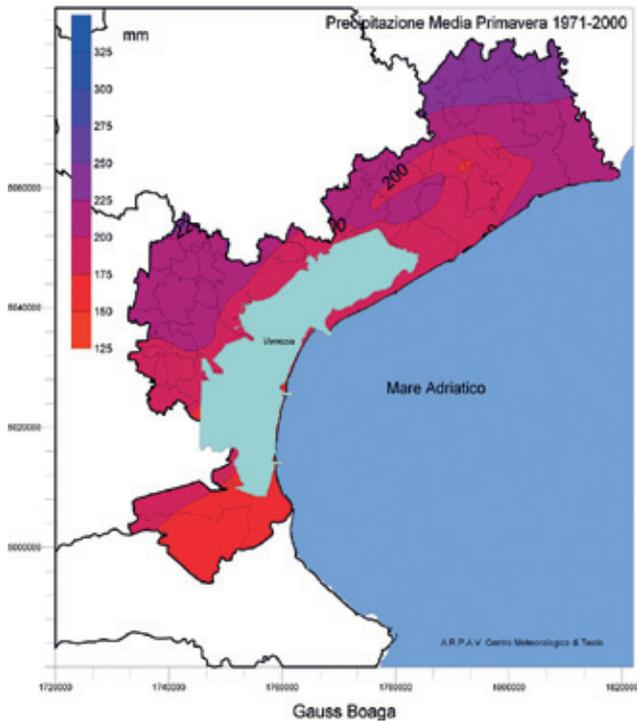


Fig. 11.7 - Carta della precipitazione media primaverile (Mar-Apr-Mag).

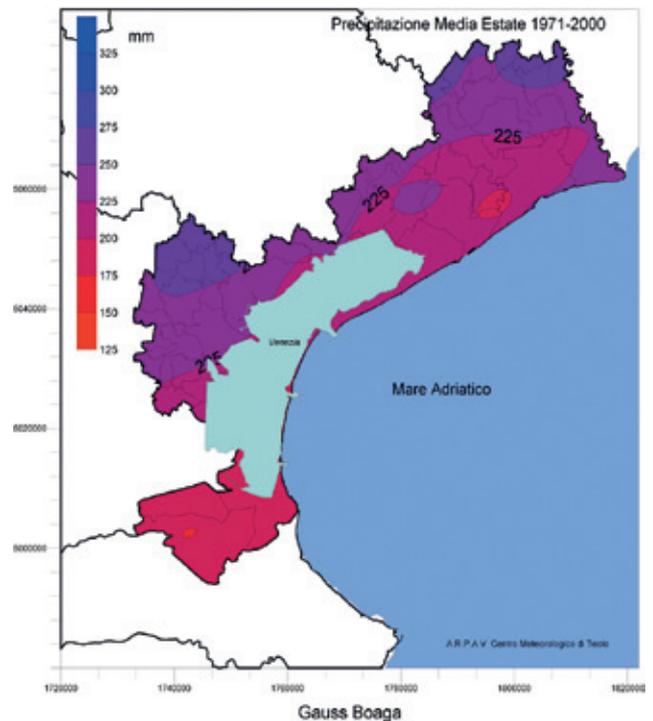


Fig. 11.8 - Carta della precipitazione media estiva (Giu-Lug-Ago).

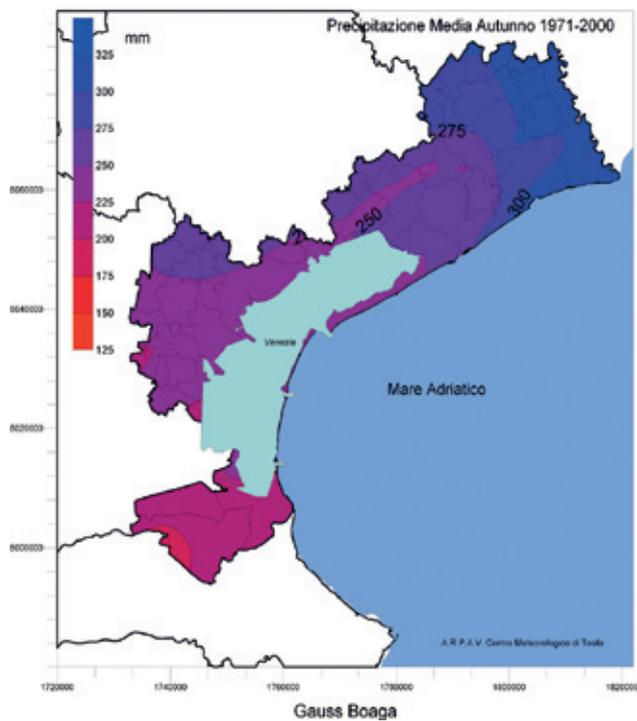


Fig. 11.9 - Carta della precipitazione media autunnale (Set-Ott-Nov).

#### 11.4.2. Precipitazioni di massima intensità e loro frequenza probabile

L'analisi degli eventi pluviometrici intensi è stata eseguita sulla base dei dati di massima precipitazione annua per le durate da 5 minuti a 5 giorni provenienti dalla rete di monitoraggio regionale per il periodo 1992-2010 (Figg. da 11.10 a 11.29).

L'elaborazione statistico-probabilistica ha permesso di stimare le altezze massime di precipitazione per assegnati tempi di ritorno, che rappresentano il numero medio di anni entro cui il valore di pioggia calcolato viene superato una sola volta. In conclusione è stato possibile redigere le carte provinciali della piovosità per le durate e i tempi di ritorno esaminati, ovvero delle altezze di pioggia che, per le durate di 1 ora, 6 ore, 24 ore, 3 giorni e 5 giorni, ci si attende non vengano superate, a meno di un rischio valutato attraverso il tempo di ritorno (2, 5, 10, 25 anni).

Dato il limite temporale delle serie disponibili, dal 1992 al 2010 (18 anni), è opportuno ricordare che non si è proceduto al calcolo delle precipitazioni con tempi di ritorno superiori ai 25 anni in quanto l'estrapolazione sarebbe troppo estesa in rapporto all'ordine di grandezza delle serie.

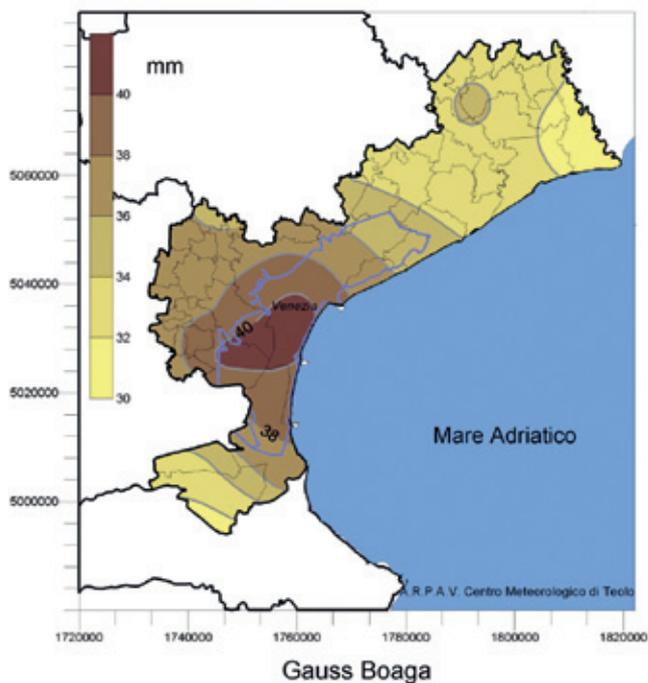


Fig. 11.10 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 2 anni.

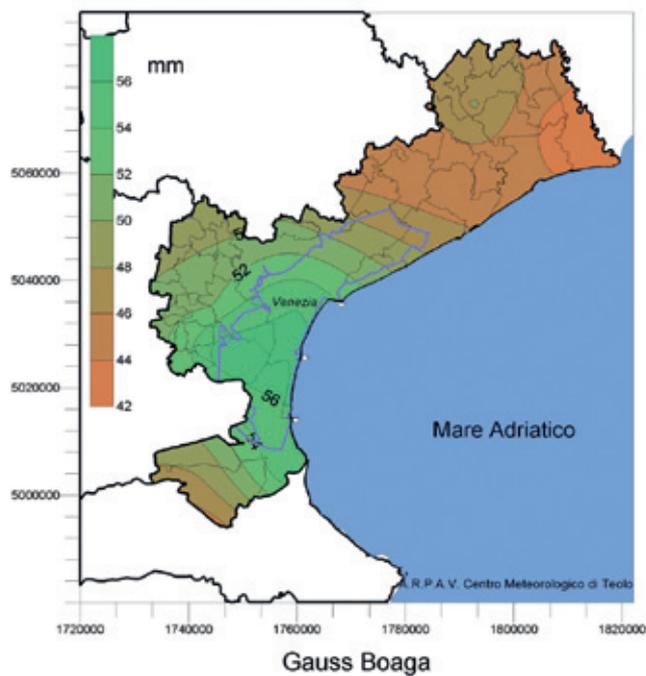


Fig. 11.11 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 5 anni.

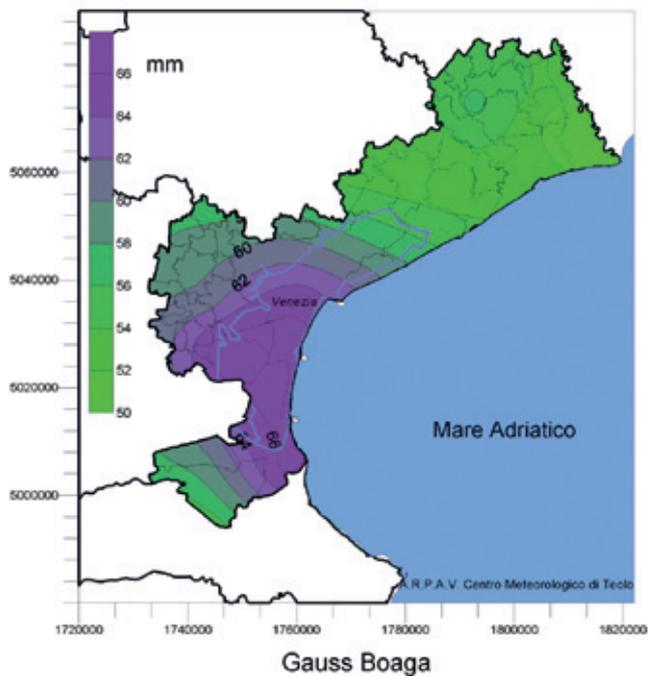


Fig. 11.12 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 10 anni.

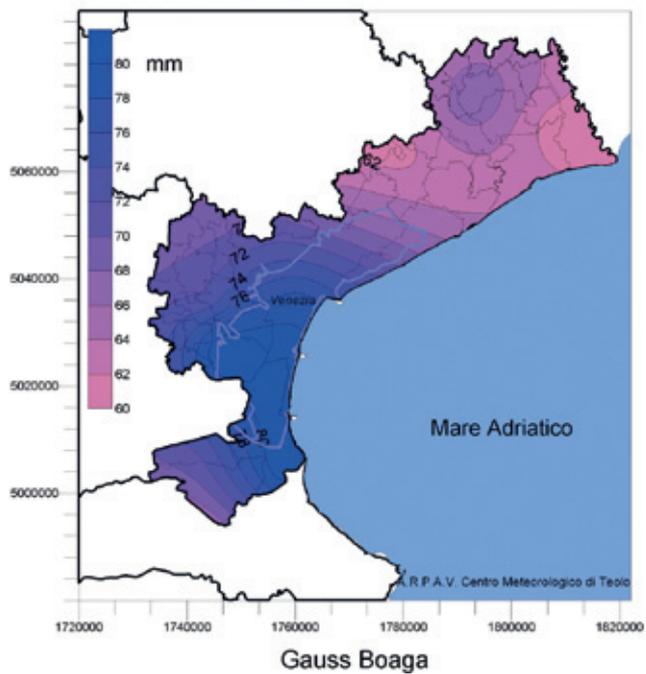


Fig. 11.13 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 1 ora per tempi di ritorno di 25 anni.

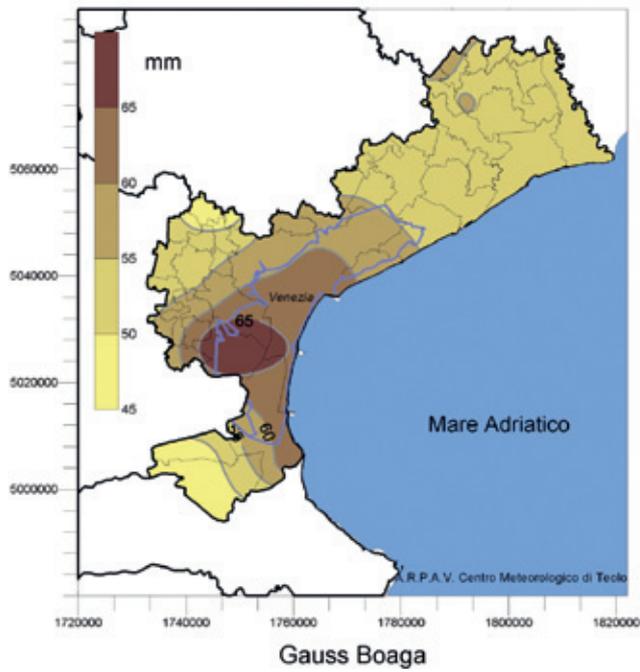


Fig. 11.14 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 2 anni.

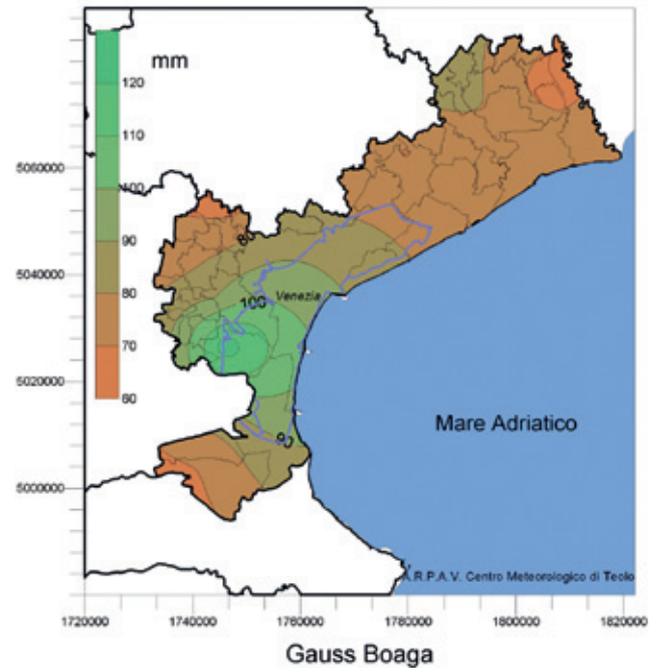


Fig. 11.15 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 5 anni.

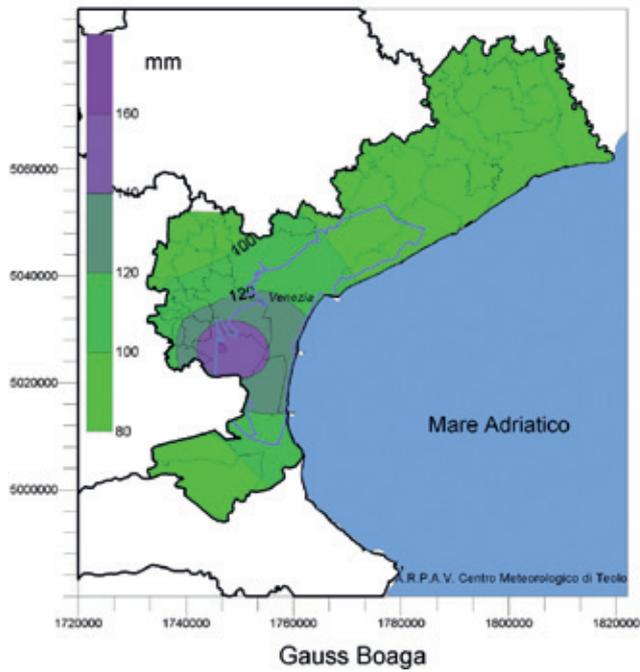


Fig. 11.16 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 10 anni.

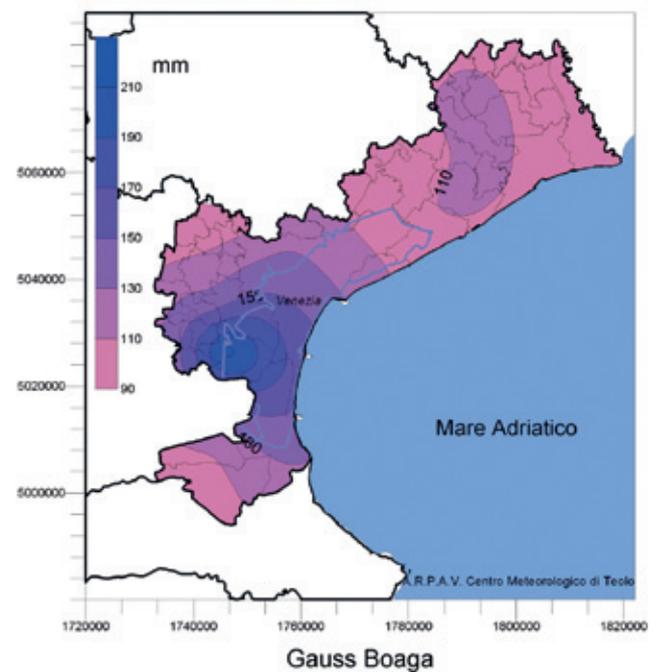


Fig. 11.17 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 6 ore per tempi di ritorno di 25 anni.

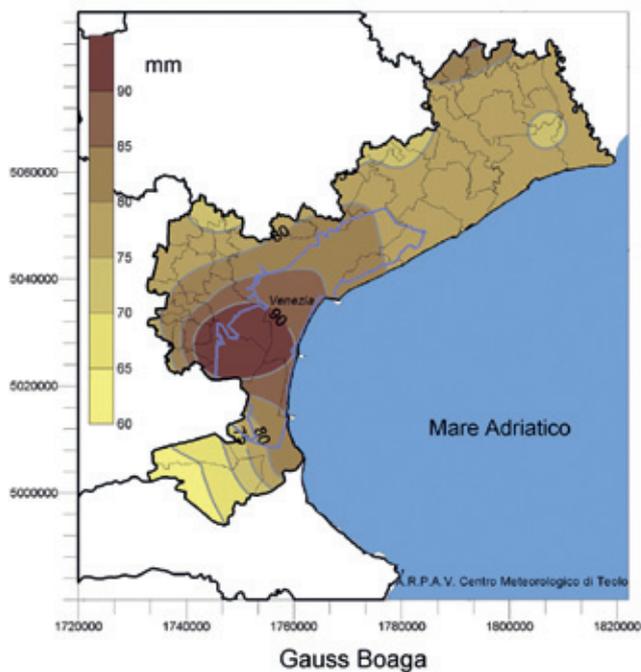


Fig. 11.18 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 2 anni.

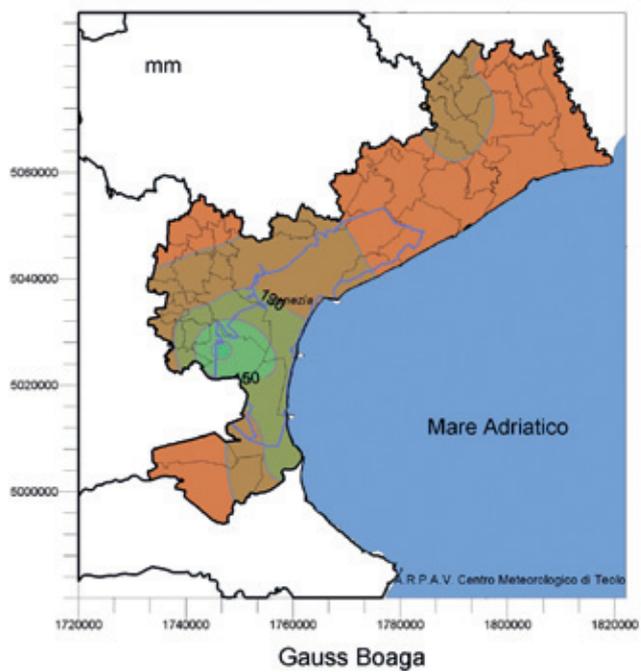


Fig. 11.19 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 5 anni.

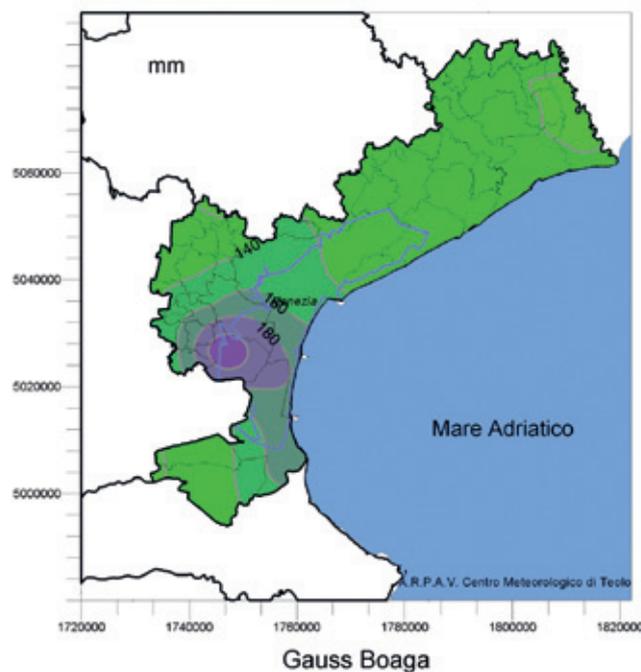


Fig. 11.20 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 10 anni.

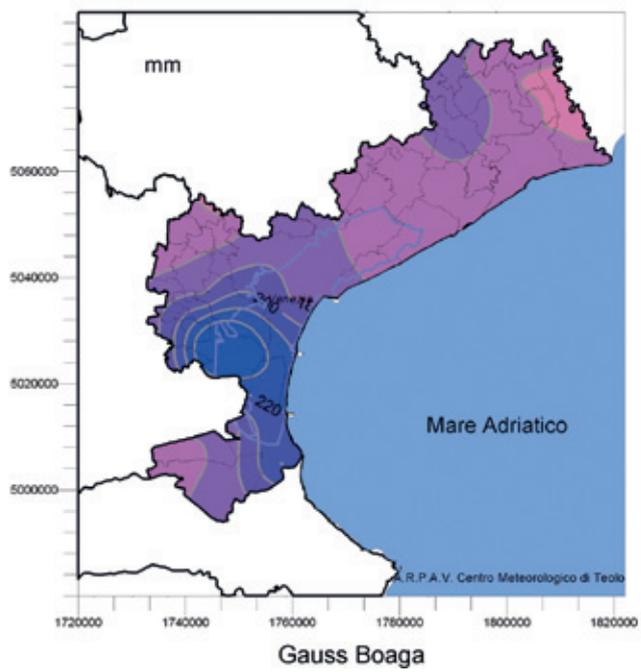


Fig. 11.21 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 24 ore per tempi di ritorno di 10 anni.

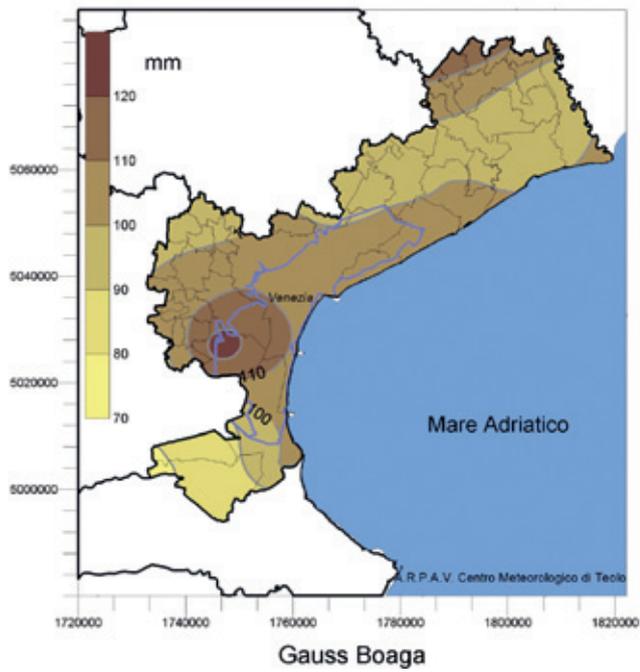


Fig. 11.22 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 2 anni.

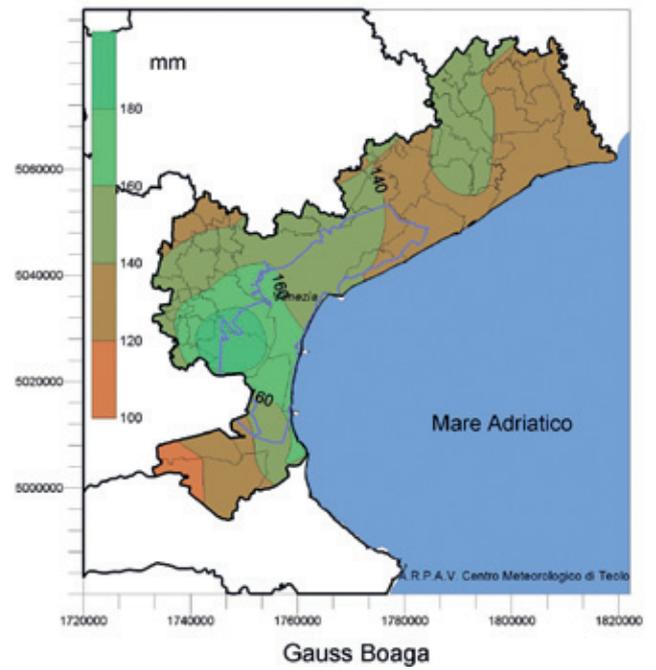


Fig. 11.23 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 5 anni.

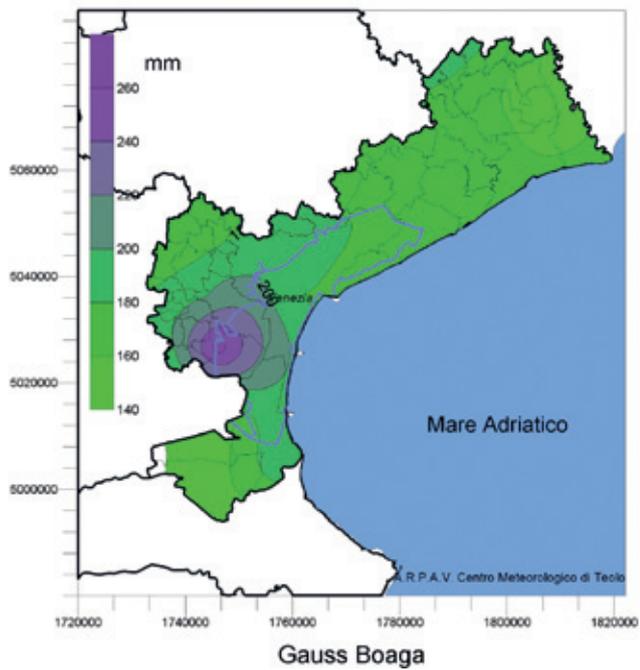


Fig. 11.24 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 10 anni.

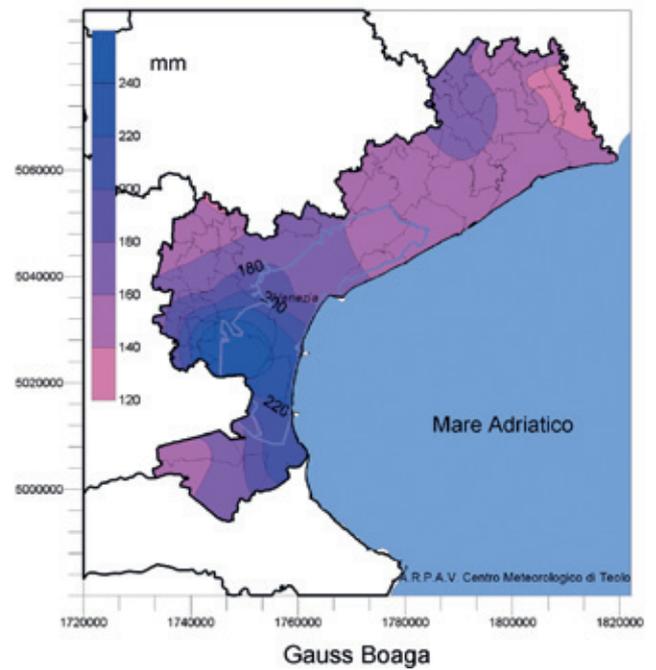


Fig. 11.25 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 3 giorni per tempi di ritorno di 25 anni.

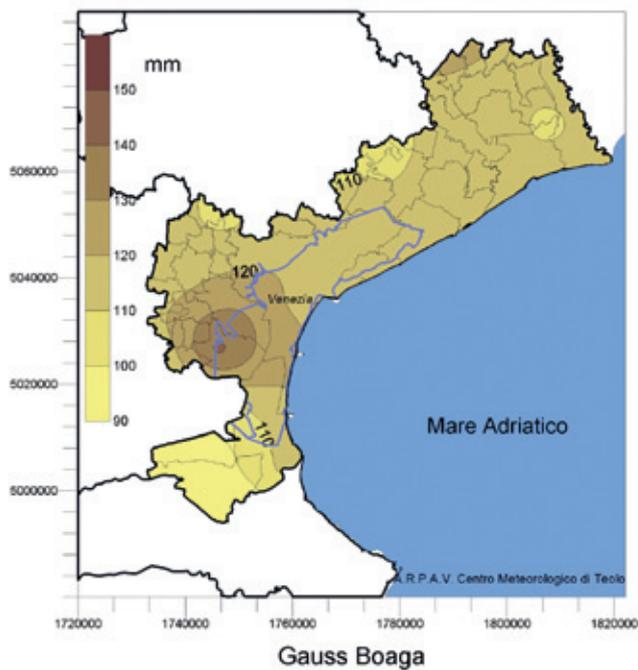


Fig. 11.26 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 2 anni.

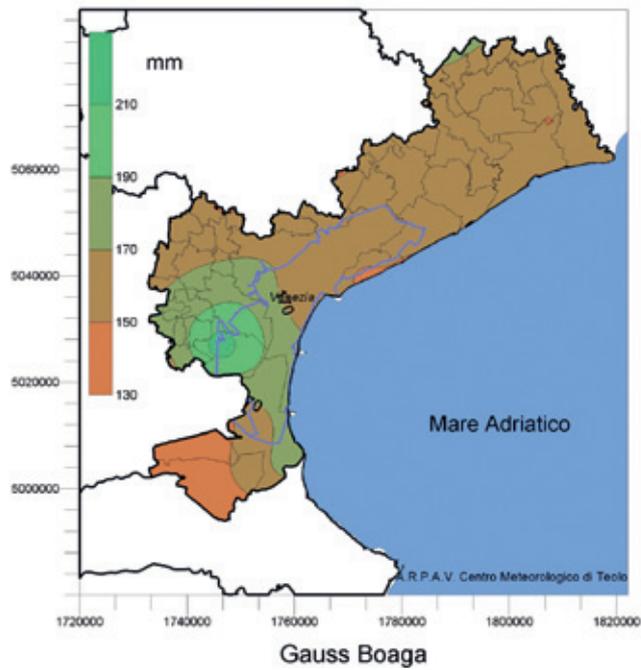


Fig. 11.27 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 5 anni.

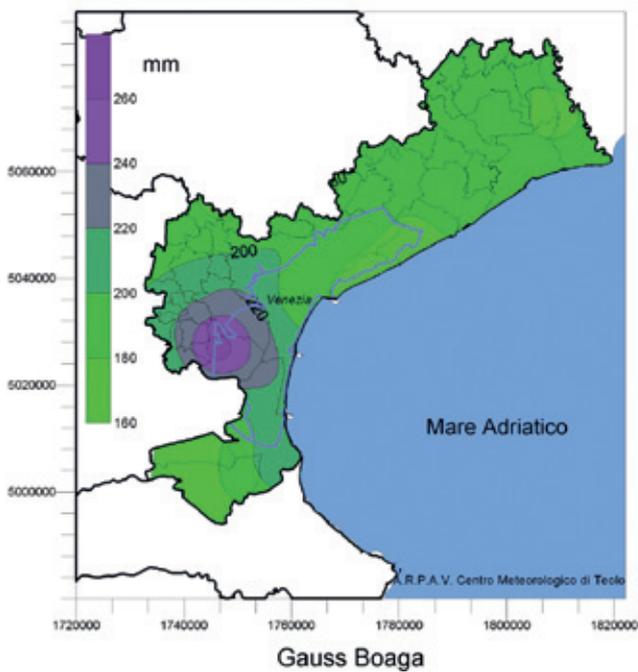


Fig. 11.28 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 10 anni.

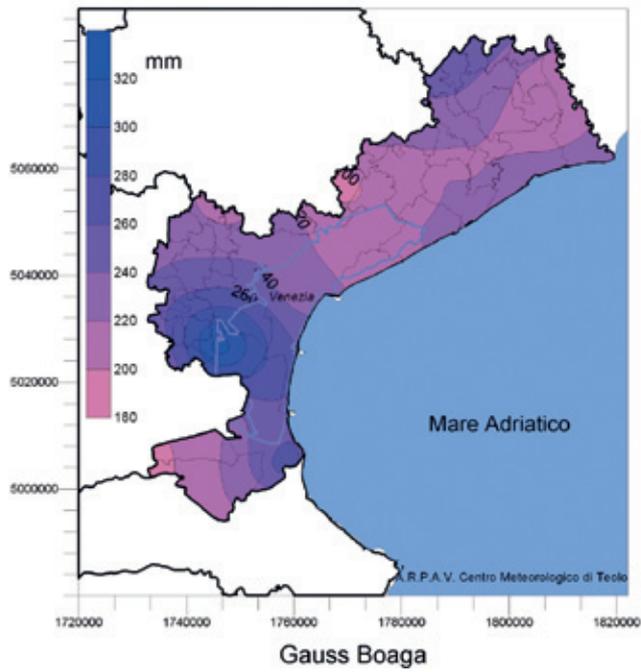
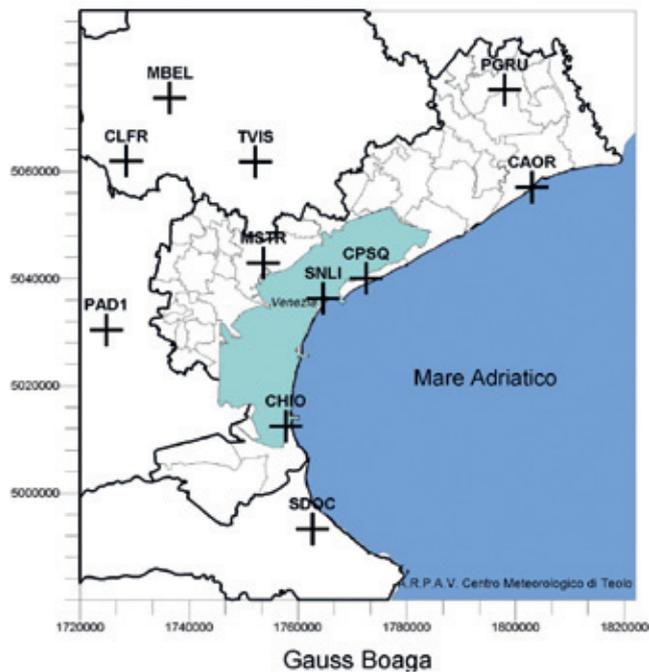


Fig. 11.29 - Carta provinciale delle precipitazioni di durata pari a 5 giorni per tempi di ritorno di 25 anni.



COD	STAZIONE	QUOTA s.l.m.
CPSQ	CA' PASQUALI	2
CAOR	CAORLE	3
CLFR	CASTELFRANCO VENETO	44
CHIO	CHIOGGIA	2
MSTR	MESTRE	4
MBEL	MONTEBELLUNA	121
PAD1	PADOVA	12
PGRU	PORTOGRUARO	6
SNLI	SAN NICOLO' LIDO	4
SDOC	SADOCCA	2
TVIS	TREVISO	15

Fig. 11.30 - Elenco e localizzazione delle stazioni meteorologiche utilizzate per l'analisi delle temperature registrate sul territorio provinciale nel periodo 1971÷2000.

COD	STAZIONE	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG.	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.	ANNO
CPSQ	CA' PASQUALI	7,2	9,2	12,4	16,3	21,7	25,4	28,5	28,6	24,4	19,0	12,5	8,1	17,8
CAOR	CAORLE	6,6	8,6	12,0	15,9	21,0	24,6	27,8	27,9	23,6	18,2	11,9	7,4	17,1
CHIO	CHIOGGIA	6,2	8,2	12,1	16,1	21,3	24,1	28,0	28,0	23,7	18,0	11,5	7,1	17,1
MSTR	MESTRE	6,3	8,7	12,9	17,2	22,5	25,6	28,5	28,7	24,4	18,0	11,4	7,0	17,6
PGRU	PORTOGRUARO	7,7	10,3	14,3	18,3	23,7	27,2	30,1	30,1	25,3	19,5	12,8	8,3	19,0
SNLI	SAN NICOLO' - LIDO	6,4	8,7	12,8	16,8	22,1	25,6	28,5	28,4	24,0	18,2	11,6	7,2	17,5

Tab. 11.1 - Temperature medie mensili delle temperature massime nelle stazioni meteorologiche della Fig. 11.30.

COD	STAZIONE	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG.	GIU.	LUG.	AGO.	SET.	OTT.	NOV.	DIC.	ANNO
CPSQ	CA' PASQUALI	-0,3	0,6	3,8	7,5	12,1	15,4	17,7	17,7	13,5	9,2	4,1	0,3	8,5
CAOR	CAORLE	0,6	1,5	4,8	8,8	13,6	16,9	19,1	18,8	15,1	10,4	5,2	1,5	9,7
CHIO	CHIOGGIA	1,1	2,7	6,1	9,7	14,5	18,0	20,9	20,8	16,9	12,0	6,0	2,1	10,9
MSTR	MESTRE	0,8	2,1	5,5	8,8	13,6	17,0	19,2	18,9	15,2	10,6	5,3	1,6	9,9
PGRU	PORTOGRUARO	-0,2	0,9	4,1	8,0	12,8	15,9	18,0	17,8	14,0	9,5	4,1	0,6	8,8
SNLI	SAN NICOLO' - LIDO	1,6	2,5	5,5	9,0	13,7	16,9	19,3	19,3	15,6	11,2	6,1	2,5	10,3

Tab. 11.2 - Temperature medie mensili delle temperature minime nelle stazioni meteorologiche della Fig. 11.30.

Nella Fig. 11.31 sono raffigurati i sensori delle stazioni meteorologiche ARPAV relativamente alle caratteristiche dei termometri per la misura della temperatura dell'aria.



Fig. 11.31 - Sensori della stazione meteorologica: il termometro per la misura della temperatura dell'aria (fonte: ARPAV).

## 11.5. TEMPERATURE

Le caratteristiche termometriche del territorio della provincia di Venezia risultano, rispetto ai territori limitrofi interni della pianura veneta, influenzate, seppur in modo abbastanza limitato, dalla presenza del mare. Sono state analizzate le distribuzioni dei valori medi annuali e stagionali delle temperature massime e minime giornaliere, calcolate per il periodo di riferimento 1971÷2000 (Figg. da 11.32 a 11.41). Le distribuzioni dei valori termici sul territorio risultano abbastanza omogenee, anche se si può notare comunque l'effetto mitigatore del mare che determina un regime termometrico leggermente più continentale verso l'entroterra rispetto alla fascia più prossima al litorale.

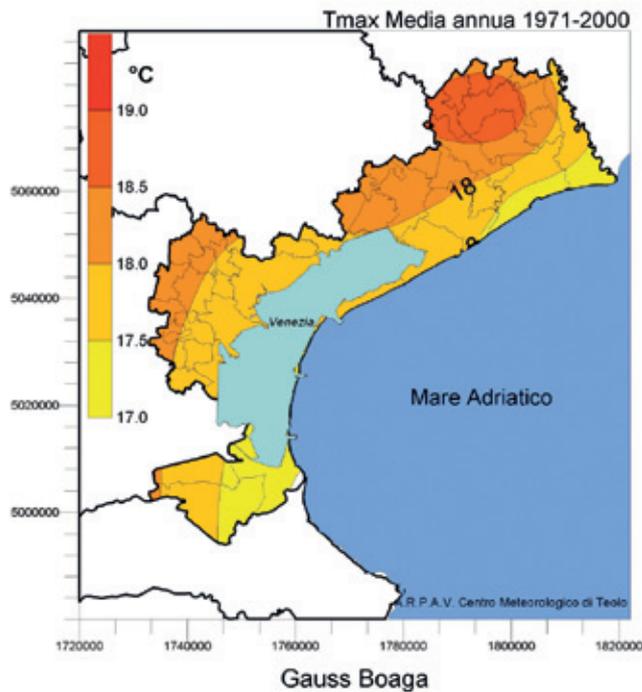


Fig. 11.32 - Carta della media annua delle temperature massime giornaliere.

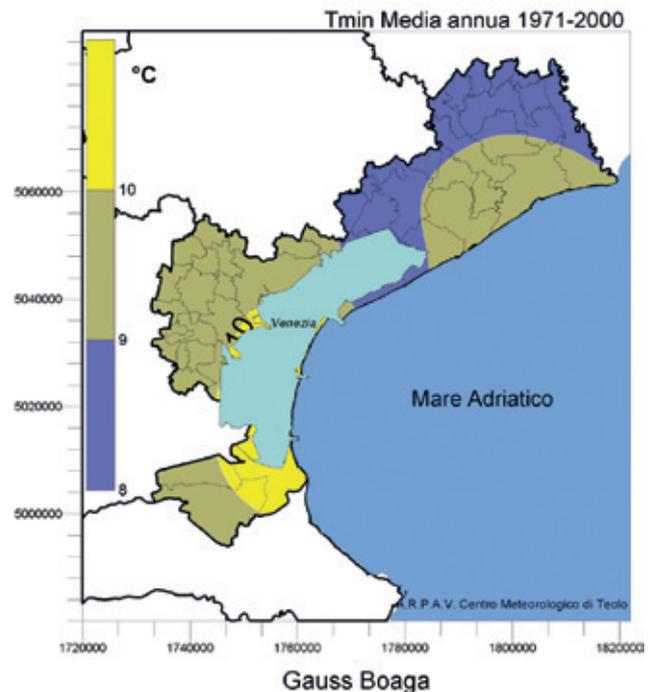


Fig. 11.33 - Carta della media annua delle temperature minime giornaliere.

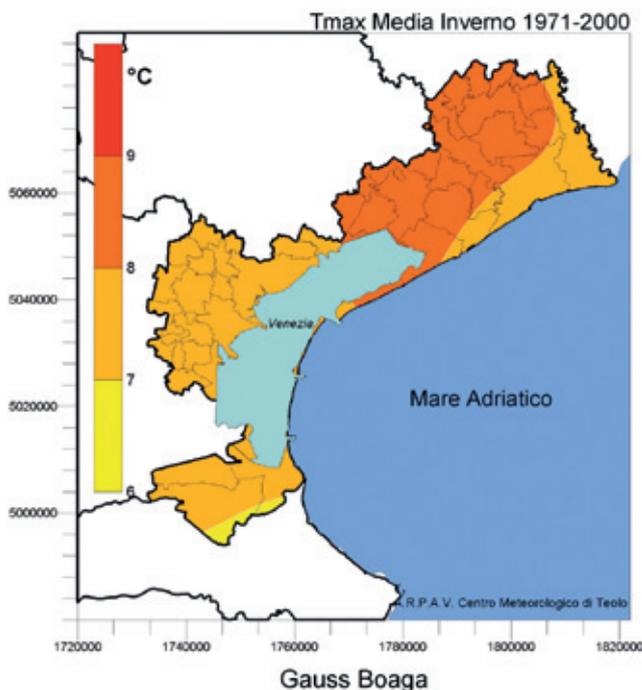


Fig. 11.34 - Carta della media invernale (Dic-Gen-Feb) delle temperature massime giornaliere.

Le temperature massime medie annue risultano generalmente comprese tra 17 e 19 °C con i valori meno elevati (17-18 °C) riferiti alla fascia costiera mentre la zona mediamente più calda risulta posizionata nell'entroterra nord-orientale della provincia dove si registrano valori medi di 18,5-19 °C (Fig. 11.32). Relativamente alla media annuale delle temperature minime si nota una leggera tendenza alla diminuzione delle temperature minime procedendo verso l'interno del territorio: la zona mediamente più calda è rappresentata dai settori centro-meridionali più vicini alla costa (9,5-10,5 °C) mentre le zone più nord-orientali confermano un maggior grado di continentalità registrando i valori mediamente più bassi (8-9 °C) (Fig. 11.33).

Le distribuzioni dei valori di temperatura massima e minima su base stagionale confermano generalmente le caratteristiche evidenziate a livello annuo, con valori massimi estivi in aumento e valori minimi in diminuzione allontanandoci dalla costa. Le zone interne evidenziano quindi un regime più continentale, con maggiori escursioni termiche annue e con circolazioni dei venti (soprattutto le brezze) più deboli rispetto alla fascia litoranea. Nell'entroterra la zona più continentale appare comunque il settore più nord-orientale della provincia (portogruarese), dove probabilmente l'effetto mitigatore del mare è più limitato rispetto agli altri settori centro-occidentali dell'entroterra; infatti i venti in prevalenza nord-orientali risultano in questa zona paralleli alla costa e quindi non in grado di far penetrare efficacemente verso l'interno masse d'aria più miti provenienti dal mare.

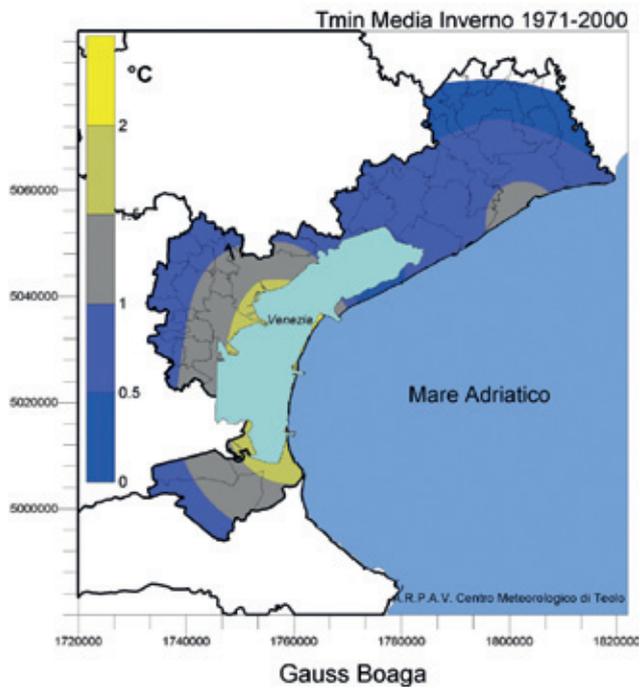


Fig. 11.35 - Carta della media invernale (Dic-Gen-Feb) delle temperature minime giornaliere.

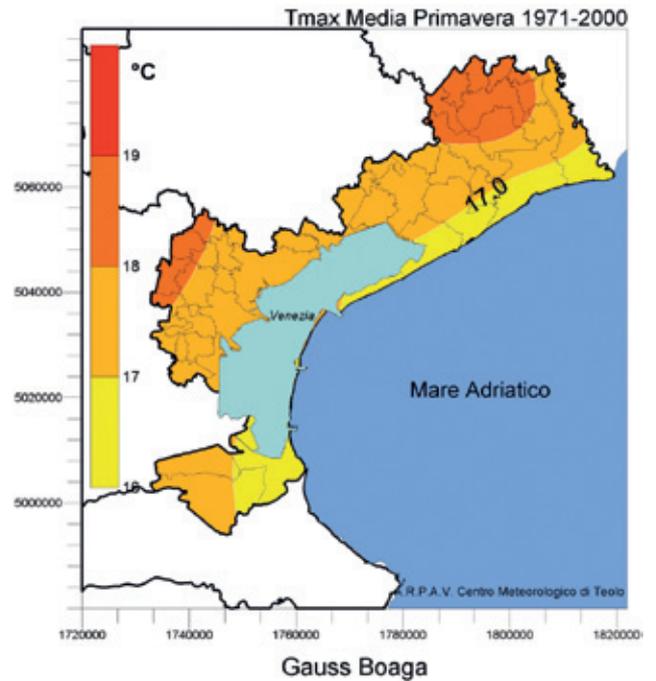


Fig. 11.36 - Carta della media primaverile (Mar-Apr-Mag) delle temperature massime giornaliere.

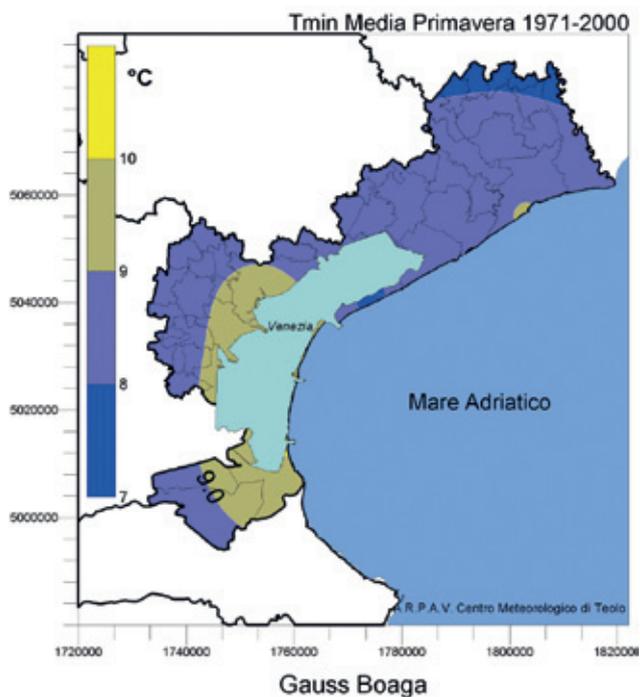


Fig. 11.37 - Carta della media primaverile (Mar-Apr-Mag) delle temperature minime giornaliere.

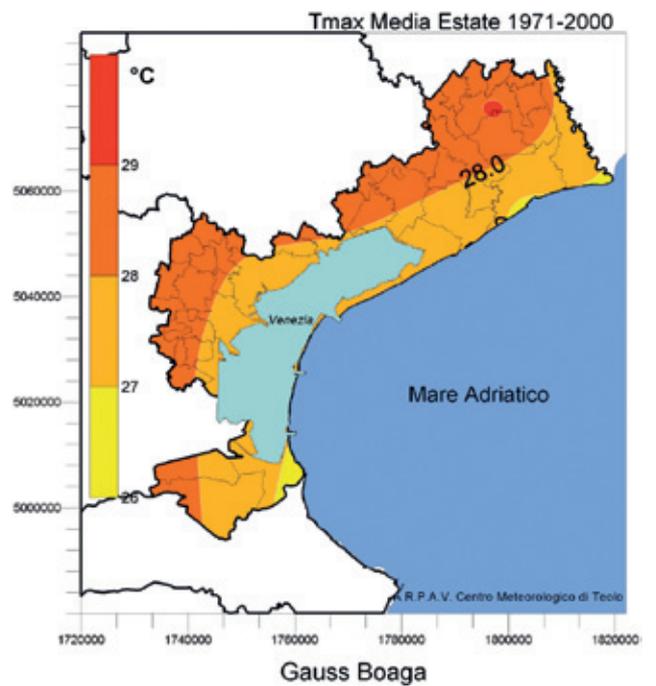


Fig. 11.38 - Carta della media estiva (Giu-Lug-Ago) delle temperature massime giornaliere.

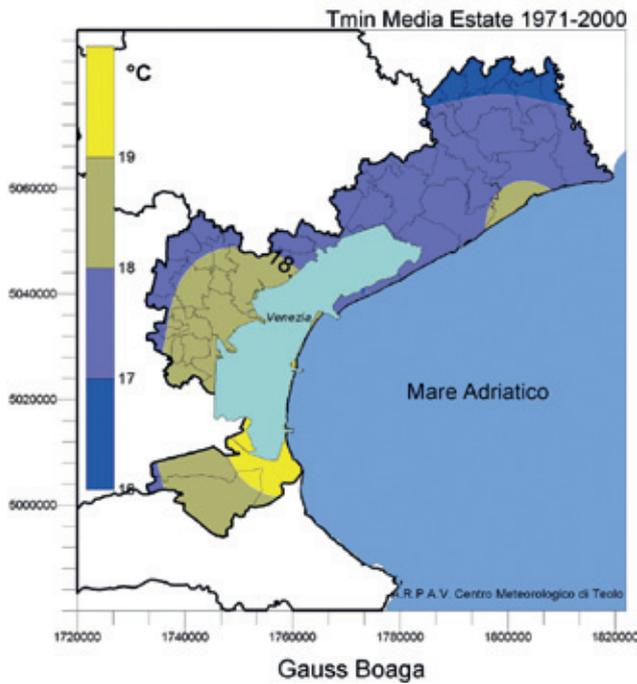


Fig. 11.39 - Carta della media estiva (Giu-Lug-Ago) delle temperature minime giornaliere.

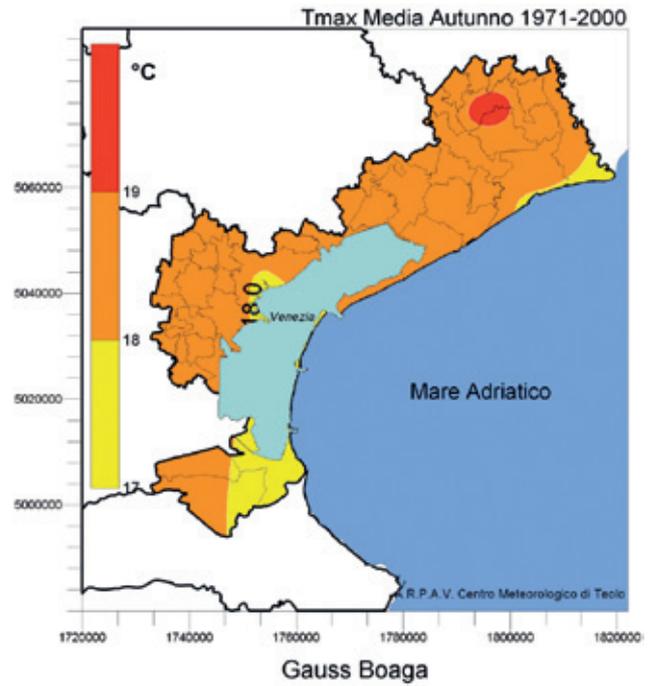


Fig. 11.40 - Carta della media autunnale (Set-Ott-Nov) delle temperature massime giornaliere.

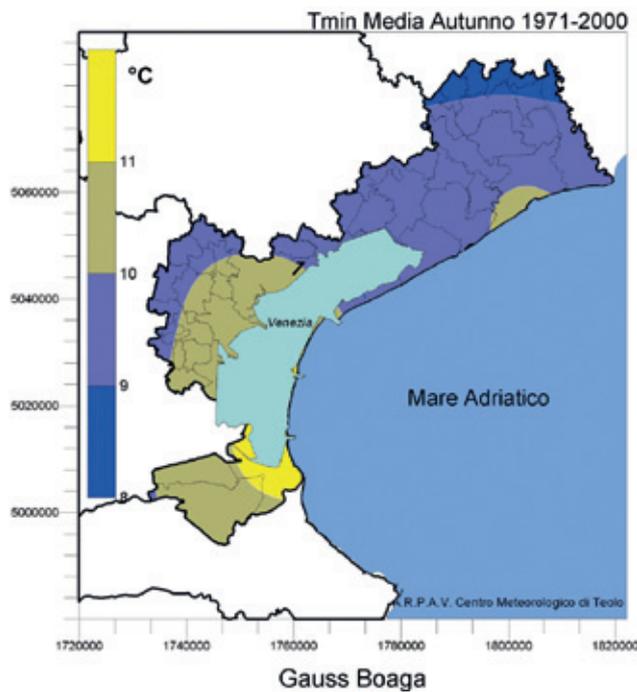


Fig. 11.41 - Carta della media autunnale (Set-Ott-Nov) delle temperature minime giornaliere.

### 11.6. VENTO

L'analisi dei venti si è basata sui dati raccolti dalle stazioni del Centro Meteorologico di ARPAV dotate di anemometro e anemoscopio posti a 10 m dal suolo, così come previsto dagli standard internazionali per la misura di questa grandezza meteorologica.

Le elaborazioni effettuate hanno permesso l'analisi delle raffiche massime di vento registrate e delle rose dei venti a livello annuo e stagionale.



Fig. 11.42 - Sensori della stazione meteorologica: l'anemometro e l'anemoscopio per la misura della velocità e della direzione del vento.

### 11.6.1. Raffiche di vento

Per raffica di vento si intende l'intensità massima del vento (in m/s) registrata da un anemometro posto ad una altezza di 10 m dal suolo.

Per l'analisi delle intensità delle raffiche di vento nel territorio provinciale di Venezia sono stati presi in considerazione i dati giornalieri di raffica massima registrati dalle stazioni.

I periodi che presentano la maggior frequenza di raffiche massime annue sono compresi tra giugno e luglio e da settembre a dicembre. Ciò è imputabile, per i mesi estivi, ai frequenti eventi di tipo temporalesco con generazione di moti turbolenti dell'aria a livello locale, mentre per i mesi autunnali, fino al mese di dicembre, il numero di eventi è associato a tipiche configurazioni bariche che si stabiliscono sull'Alto Adriatico portando alla formazione di venti di bora (da NE) e di scirocco (da SE).

### 11.6.2. Rose dei venti

Le rose dei venti permettono di evidenziare le direzioni prevalenti dei venti provenienti dai diversi settori e le diverse classi di velocità media.

Per le stesse stazioni di cui si sono analizzati i dati di raffica massima, sono state elaborate le rose dei venti medie a livello annuo e stagionale, sulla base dei dati registrati tra il 1998 e il 2001 (Figg. da 11.45 a 11.49). E' da evidenziare che sul territorio provinciale, a livello annuo, i venti nord-orientali (Bora) sono quelli più frequenti.

Essendo la conformazione del territorio orientata da sud-ovest a nord-est è presente una diversa incidenza del vento:

- nell'area meridionale (Chioggia, Cavarzere e Cona) i venti di Bora spirano ortogonalmente alla costa mentre quelli di Scirocco tendono a spirare parallelamente alla costa;
- nell'area nord-orientale i venti di Scirocco spirano ortogonalmente alla costa mentre quelli di Bora tendono a lambire parallelamente alla costa gli estremi orientali del territorio (San Michele al Tagliamento, Caorle).

A livello stagionale si può notare:

- in inverno, prevalenza di circolazioni di debole intensità con venti più intensi provenienti da nord-est (Bora) e, nella zona sud-occidentale, maggior presenza di venti dai quadranti occidentali ma di intensità mediamente più debole;
- in primavera, venti mediamente più sostenuti, in prevalenza dai quadranti nord-orientali nelle zone più interne, mentre nella zona litoranea presenza delle brezze (soprattutto di mare, perpendicolari alla costa)
- in estate, dominanza dei regimi a carattere di brezza con alternanza delle brezze di mare (di giorno) e, seppur più deboli, delle brezze di terra (di notte) che risultano provenienti da NE nel medio-alto veneziano e da NO nel basso veneziano.
- In autunno, prevalenza di venti da NE nella zona nord-orientale e maggior variabilità nel basso veneziano, ma con venti più intensi sempre dai settori nord-orientali.

## IL TORNADO DI VENEZIA (11 SETTEMBRE 1970)

(a cura di Andrea Vitturi)

Le trombe d'aria (dette anche "tornado") sono violenti vortici d'aria che arrivano a toccare il suolo; sono fenomeni meteorologici altamente distruttivi, per fortuna da noi con frequenze non elevate. Pur tuttavia essi hanno colpito il territorio provinciale in più occasioni; restando agli ultimi anni, le trombe d'aria più recenti sono avvenute a Bibione (luglio 1997), a Cavarzere - Cona - Chioggia (settembre 1999), nel miranese (agosto 2002), a Caorle (agosto 2004), a Mira (luglio 2006), a Mestre in occasione del Heineken Jammin Festival (giugno 2007), a Noale - Salzano (novembre 2008), nel basso Piave (luglio 2009), a Fossò (giugno 2010), a Pellestrina e a Noventa di Piave (luglio 2010), a Santa Maria di Sala - Dolo - Chioggia (agosto 2010).

Ma quella che senza alcun dubbio è stata di gran lunga la più tristemente "famosa" è stata quella che ha colpito soprattutto il territorio comunale di Venezia (che allora comprendeva anche il territorio dell'attuale comune di Cavallino Treporti) l'11 set-

tembre 1970. Ha infatti causato complessivamente ben 34 morti (di cui uno in provincia di Padova) e tantissimi feriti, oltre a danni rilevanti.

Dalle fonti dell'epoca (soprattutto "Il Gazzettino") risulta che la tromba d'aria si formò sui Colli Euganei alle 20.45; devastò inizialmente la provincia di Padova per poi entrare in quello di Venezia (Vigonovo, Fossò, Camponogara, Mira), provocando ingenti danni e 18 feriti. Rase poi al suolo il camping Fusina, provocando un morto e 14 feriti, oltre a forti danni. Da qui, entrando in laguna, divenne la classica tromba marina, che sviluppò tutta la sua potenza su un motoscafo di linea (pesante ben 22 t!) che stava attraccando a Sant'Elena, sollevandolo e poi inabissandolo in pochi istanti.

Si contarono per questo solo episodio ben 21 morti, cui se ne aggiunse un altro, colpito dagli alberi sradicati nella pineta di Sant'Elena; anche molte case furono danneggiate seriamente (Figg. 11.43 e 11.44).



Fig. 11.43 - Case devastate in viale 4 novembre a Sant'Elena

(foto: Sergio Dalla Chiara - Mira - [www.musicain.it/VENEZIA/TORNADO.htm](http://www.musicain.it/VENEZIA/TORNADO.htm))



Fig. 11.44 - Il cippo commemorativo delle vittime del tornado a Sant'Elena.



(foto: Sergio Dalla Chiara - Mira - [www.musicain.it/VENEZIA/TORNADO.htm](http://www.musicain.it/VENEZIA/TORNADO.htm))

Il tornado devastò poi la zona di San Nicolò al Lido e quindi passò a Punta Sabbioni. La sua furia devastatrice terminò con ulteriori lutti: anche il camping Ca' Savio venne annientato e vi furono altri 12 morti e 141 feriti; anche qui, danni elevatissimi.

I tornado sono classificati con la scala Fujita in base alla loro potenza, che va da F1 a F5; il tornado descritto è stato classificato come F4, e cioè "devastante", in base a tale scala.



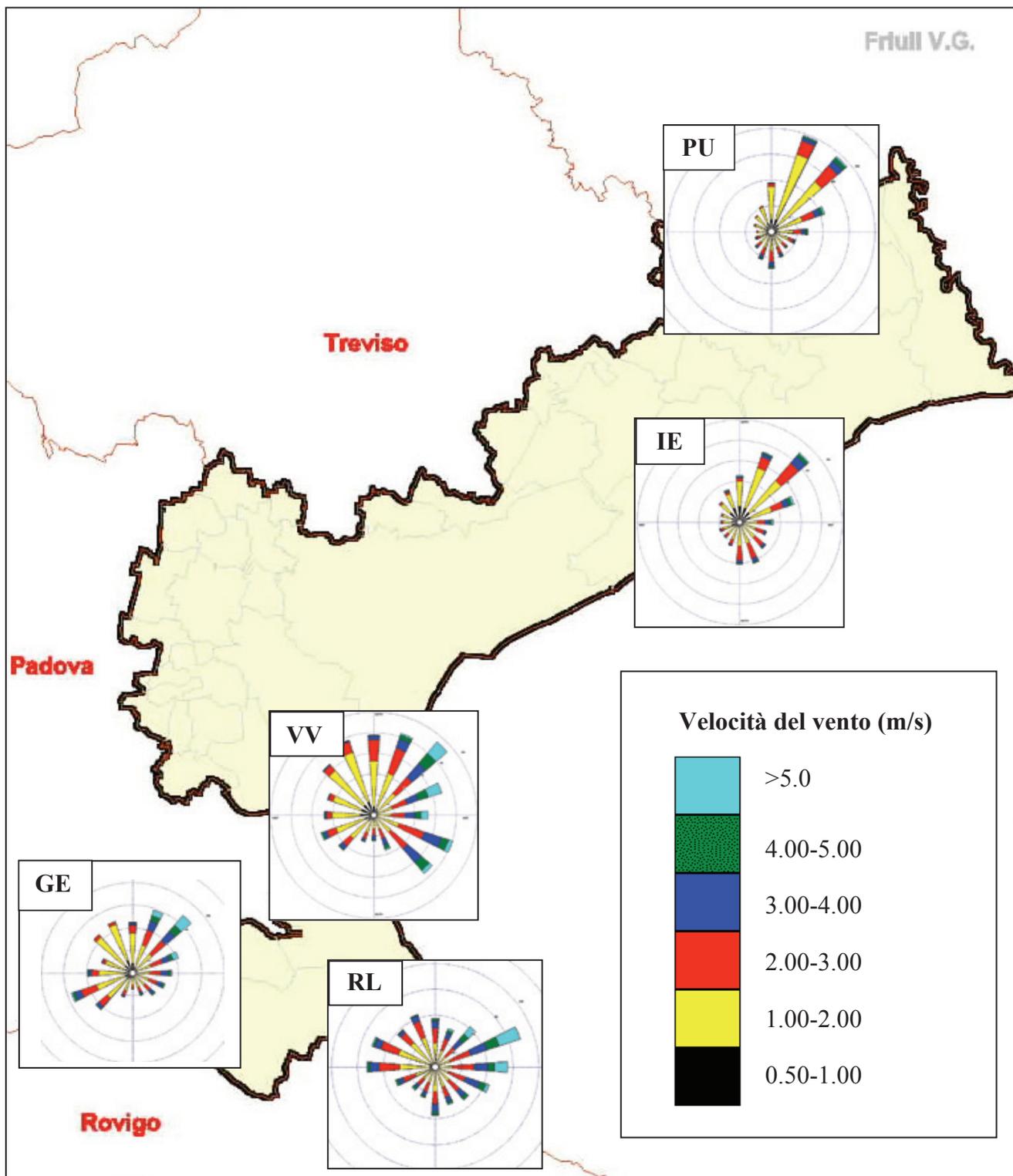


Fig. 11.45 - Rose dei venti medie annue elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treponti (IE), Valle Averte (VV), Rosolina (RL), Gesia - Cavarzere (GE).

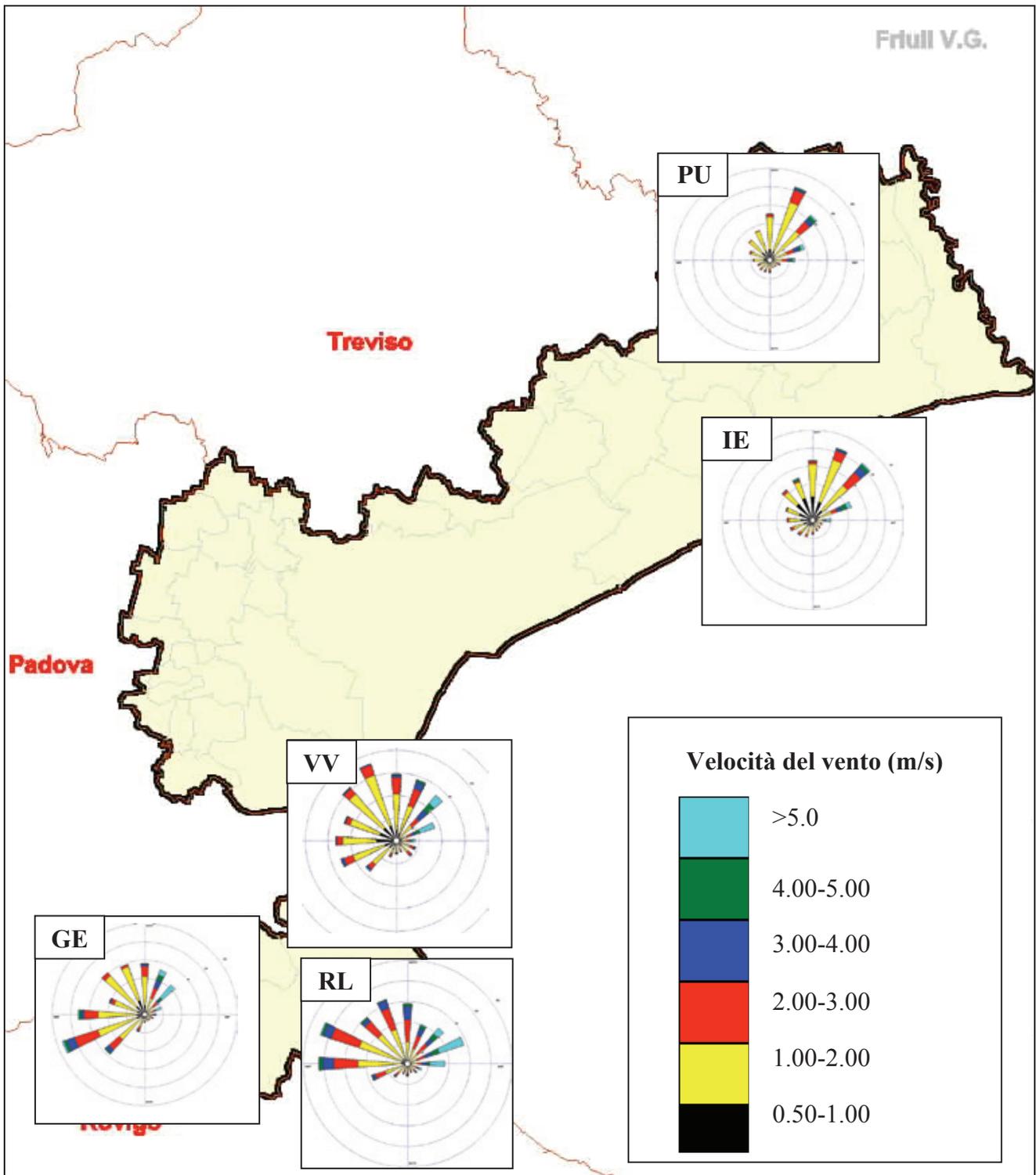


Fig. 11.46 - Rose dei venti medie invernali elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treporti (IE), Valle Averte (VV), Rosolina (RL), Gesia Cavarzere (GE).

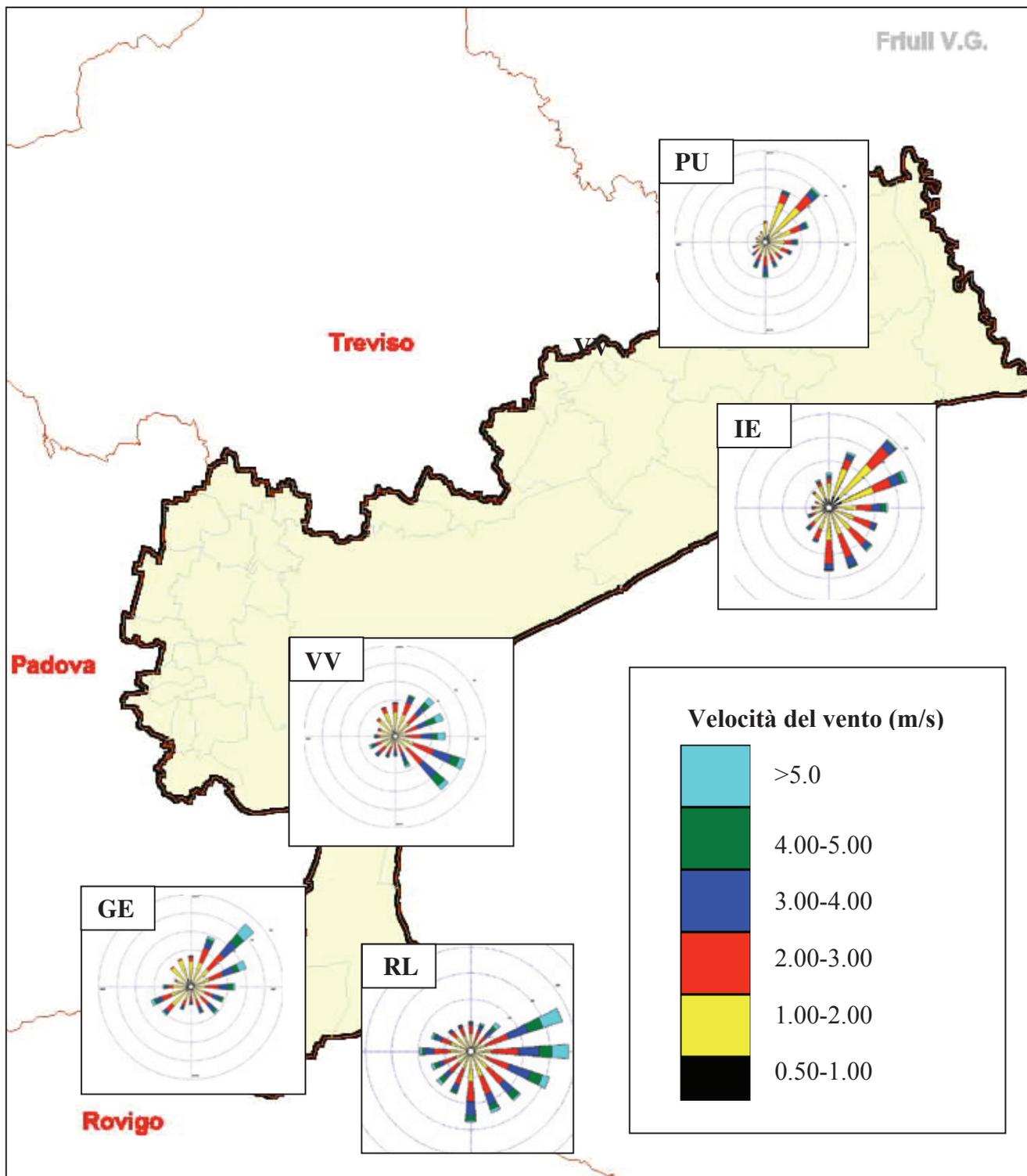


Fig. 11.47 - Rose dei venti medie primaverili elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treporti (IE), Valle Averso (VV), Rosolina (RL), Gesia Cavarzere (GE).

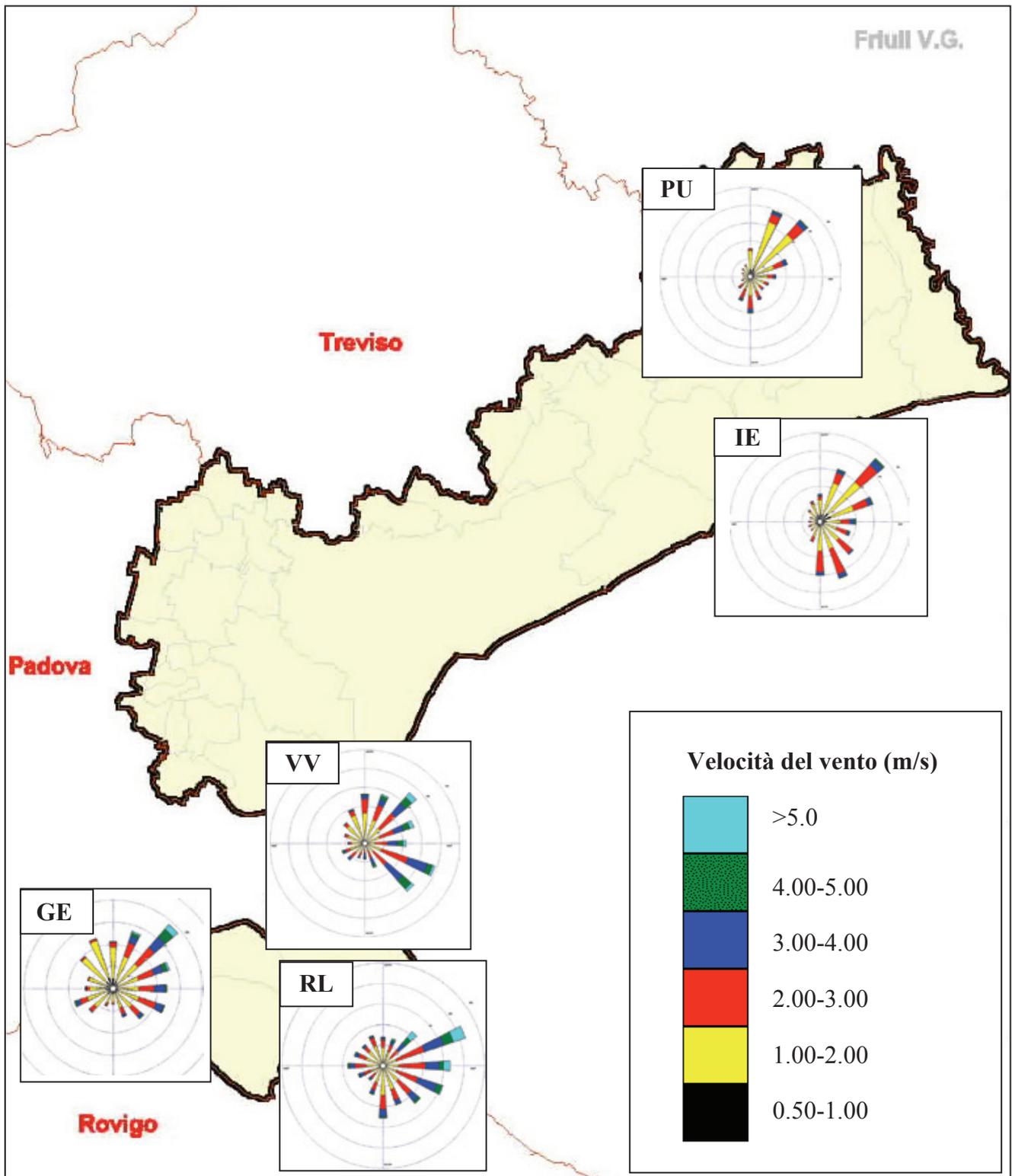


Fig. 11.48 - Rose dei venti medie estive elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treporti (IE), Valle Averso (VV), Rosolina (RL), Gesia Cavarzere (GE).

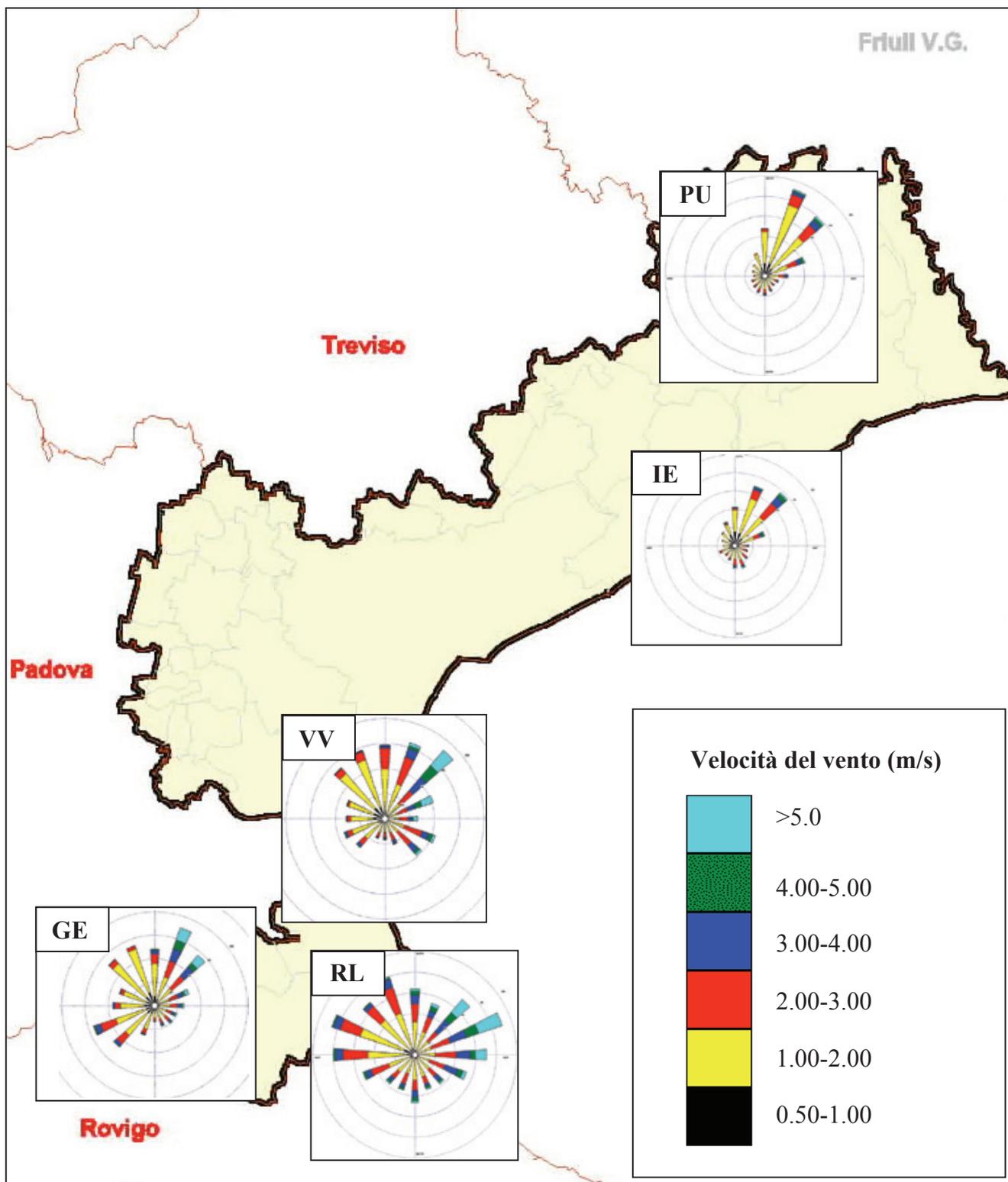


Fig. 11.49 - Rose dei venti medie autunnali elaborate per le stazioni di Portogruaro (PU), Cavallino Treponti (IE), Valle Averso (VV), Rosolina (RL), Gesia - Cavarzere (GE).

## ANALISI METEO-CLIMATICA DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL 26 SETTEMBRE 2007 NEL VENEZIANO

ARPAV-DRST Centro Meteorologico di Teolo

Adriano Barbi, Gabriele Formentini, Marco Monai, Francesco Rech, Franco Zardini

La mattina di mercoledì 26 settembre 2007 un intenso e persistente sistema temporalesco interessa con forti precipitazioni la fascia costiera centro-meridionale del Veneto tra il piovese (zona sud-orientale della provincia di Padova), il veneziano centrale e il basso trevigiano colpendo in modo particolare la zona adiacente alla laguna tra Codevigo (PD) e Venezia Mestre (Fig. 11.50).

I fenomeni risultano in prevalenza concentrati nell'arco di 6 ore, tra le prime ore della notte e la mattinata del 26; le precipitazioni registrano picchi massimi di intensità particolarmente elevati al primo mattino, tra le ore 5 e le ore 8 solari circa, con valori che in alcune località monitorate dalla rete di stazioni meteorologiche dell'ARPAV superano i 100 mm circa in un'ora e i 200 mm in 3 ore.

A fine evento, presso alcune stazioni meteo nelle aree più colpite, si registrano quantitativi di pioggia ragguardevoli: 324,6 mm a Valle Averso (VE), 260,4 mm a Mestre-Marghera (VE), 166,4 mm a Mogliano (TV), 165,8 mm a Mira (VE), 160,2 mm a Codevigo (PD), 128,0 mm a Roncade (TV), 123,4 mm a Cavallino Treporti (VE), 118,8 mm a Venezia-Istituto Cavanis. La parte meridionale del trevigiano registra 80-90 mm, mentre nel resto della regione cadono precipitazioni dell'ordine dei 10-30 mm, localmente anche inferiori a 1 mm nelle province di Verona e Rovigo.

Tale distribuzione delle precipitazioni, così diversificata spazialmente, è da attribuirsi alla natura spiccatamente convettiva dei fenomeni.



Fig. 11.50 - Una foto scattata la mattina del 26 settembre 2006 in un quartiere di Mestre.

### Situazione meteorologica ed evoluzione dei fenomeni registrati.

Nelle prime ore della notte di mercoledì 26 settembre sull'Italia settentrionale si forma un nucleo di bassa pressione al suolo centrato sul Golfo Ligure mentre in quota si sta approfondendo una saccatura, con aria fredda di origine artica, estesa dal Nord Europa alla Francia meridionale in rapido avvicinamento all'arco alpino (Fig. 11.51).

Nel corso della notte si intensificano i venti in quota dai quadranti meridionali per il sopraggiungere della saccatura che nel frattempo ha raggiunto con la sua propaggine meridionale le Alpi occidentali, mentre a livello del suolo i venti si dispongono da sud-est sull'Alto Adriatico e da nord-est nell'entroterra veneto.

Poco dopo la mezzanotte si forma in prossimità del confine tra le province di Padova e Venezia, tra Piove di Sacco e Codevigo, una prima cella temporalesca in successivo sviluppo ed estensione verso nord destinata poi a interessare il veneziano centrale, e in particolar modo la zona adiacente alla laguna tra Codevigo e Venezia.

In dettaglio le immagini provenienti dal radar meteorologico posizionato sul Monte Grande (Teolo-PD) permettono di individuare, nelle prime due ore

dopo la mezzanotte solare, nella parte occidentale della provincia di Venezia, tre - quattro piccole celle temporalesche piuttosto localizzate che, nel corso dell'intervallo di tempo citato, tendono ad organizzarsi lungo una struttura lineare disposta lungo la direttrice SW-NE. Tale piccola linea si muove lentamente in direzione NW verso l'entroterra andando a interessare la provincia di Padova. Successivamente a questo primo episodio, si sviluppano due dei sistemi convettivi più significativi dell'intero evento.

A seguito della prima modesta linea di celle temporalesche, dopo le ore 2 solari circa si sviluppa nella parte più occidentale della provincia di Venezia (Fig. 11.52), nell'area compresa tra i comuni di Campogara, Campolongo Maggiore e Vigonovo, una cella temporalesca piuttosto isolata che assume le caratteristiche di mini-supercella (*echo-top* inferiore ai 6-7 km di altezza), le cui caratteristiche salienti sono evidenziabili da un'attenta analisi tridimensionale dei dati radar (Fig. 11.53).

Una supercella è un temporale isolato in grado di scaricare a terra grandi quantità di acqua, grandine e spesso è associato anche a moti vorticosi. Trattandosi di una struttura poco estesa in altezza la fenomenologia più probabile o comunque prevalente

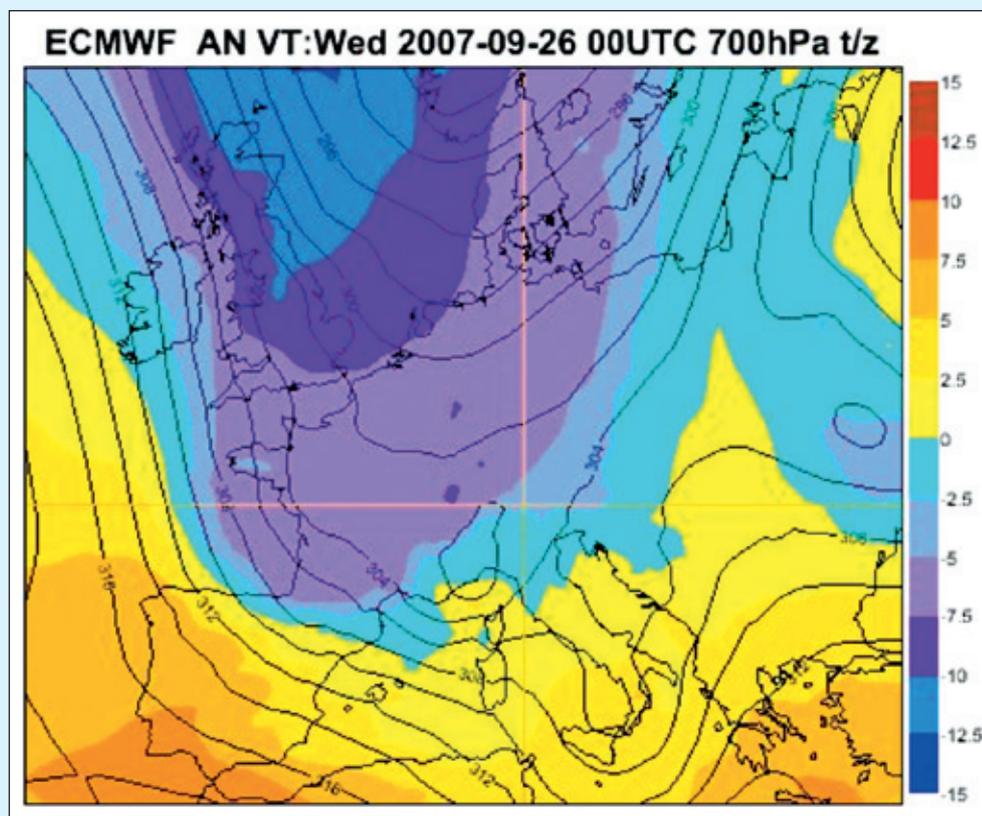


Fig. 11.51 - Analisi alle ore 00 UTC (ore 1.00 solare) di mercoledì 26 del geopotenziale (linee nere in decimetri) e della temperatura in quota (aree colorate in °C) a 700 hPa, pari a 3000 m circa di quota.

Si nota la saccatura di aria fredda estesa dal Nord Europa alla Francia; sull'Italia è già presente un nucleo depressionario sulle regioni nord-occidentali mentre sulle regioni meridionali si può notare un secondo minimo depressionario che favorisce nei bassi strati dell'atmosfera una rimonta di aria caldo-umida lungo l'Adriatico.

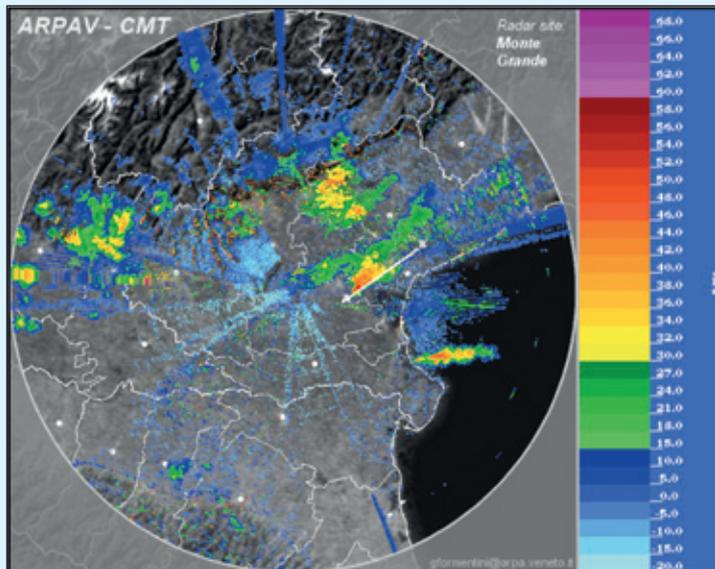


Fig. 11.52 - PPI di riflettività del radar di Monte Grande alle ore 2.00 solari.

è la pioggia intensa. Tra le 2.30 e le 3.50 questa prima mini-supercella tende ad indebolirsi nel suo lento spostamento verso l'entroterra, mentre una seconda struttura convettiva dalle stesse caratteristiche si origina sempre nella stessa area geografica, grazie alla confluenza dei venti di *outflow* (venti al suolo che escono dalla base di un temporale e che divergono in tutte le direzioni) della prima mini-supercella e ai venti da ESE presenti sulla laguna di Venezia. Una struttura supercellulare, essendo per definizione un elemento convettivo isolato, ha necessità, per autorigenerarsi, di un flusso indisturbato nel settore sud-orientale della stessa. La presenza invece di altre piccole celle non organizzate nell'area di Chioggia de-struttura rapidamente il sistema.

Tra le ore 5 e le ore 6 solari l'evoluzione del sistema precipitativo presente sull'area del Veneziano cambia assumendo altre caratteristiche. Infatti da supercellulare la convezione si trasforma in un sistema multicellulare. Questo grazie all'iniezione di aria molto umida ed instabile proveniente da est che aumenta l'effetto di convergenza già presente sull'area in esame. Infatti, dalle prime ore della notte e fino al mattino, il vento al suolo continua a provenire, con intensità crescente, da sud-est sul mare, mentre nell'immediato entroterra e nel resto della pianura assume direzione nordorientale. Tale situazione favorisce la formazione, a piccola scala in prossimità della costa centro-meridionale del Veneto, di una linea di convergenza dei venti e di scontro di masse d'aria con caratteristiche igrotermometriche diverse (aria caldo-umida proveniente dal mare ancora relativamente caldo e aria più fresca continentale nell'entroterra) che causano una forte instabilità atmosferica e la formazione a

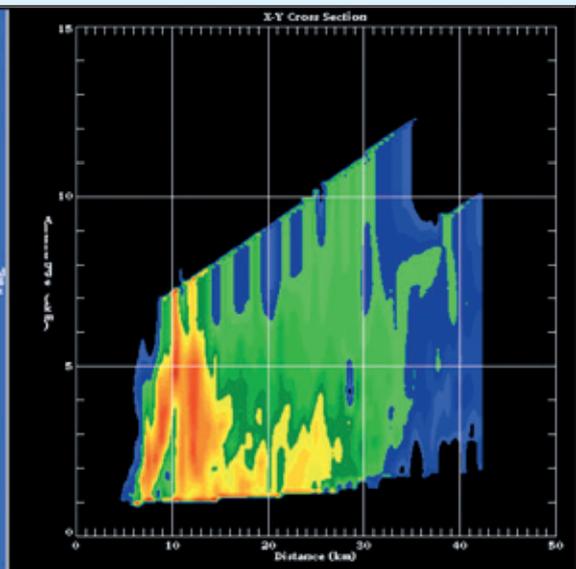


Fig. 11.53 - Sezione verticale dei dati radar di Monte Grande effettuata lungo la linea A-B della Fig. 11.50.

più riprese di diverse celle temporalesche intense che colpiscono per più ore la stessa area.

Un sistema multicellulare non è altro che un insieme di cumulonembi a diversi stadi di sviluppo disposti lungo strutture lineari (in questo caso da sud a nord; Fig. 11.54), che con un meccanismo di rigenerazione si continuano a formare sempre sullo stesso punto geografico grazie al perdurare al suolo di condizioni favorevoli al loro sostentamento. E' quello che succede dopo le 6 solari, quando la convezione si potenzia ulteriormente, cosa che è riscontrabile anche dal *top* dei cumulonembi che da satellite raggiungono la temperatura di  $-55^{\circ}\text{C}$ .

In queste ore i pluviometri registrano al suolo forti piogge che raggiungono una massima intensità tra le ore 5 e le ore 8 solari circa quando presso la stazione di Mestre-Marghera si registrano punte massime di oltre 90 mm in 30 min, oltre 120 mm in un'ora e 200 mm in 3 ore tra le ore 5.30 e le ore 8.30 circa mentre a Valle Averte (in comune di Campagna Lupia, a circa 20 km a sud-ovest rispetto a Mestre) si osservano intensità massime di 75 mm in mezz'ora, oltre 100 mm in un'ora e 250 mm circa in tre ore.

Per meglio comprendere l'estrema rilevanza dei fenomeni si ricorda che la precipitazione totale annua in queste zone raggiunge mediamente i 700-800 mm; inoltre, secondo una classificazione standard, viene riconosciuta come nubifragio una precipitazione di almeno 40 mm in mezz'ora o 60 mm in un'ora. Bisogna altresì considerare che da una prima sommaria analisi compiuta sulle singole immagini radar, le località monitorate dalle stazioni pluviometriche dell'ARPAV potrebbero non rappresentare le aree che hanno ricevuto i maggiori quantitativi di pioggia; pertanto è possibile che localmente

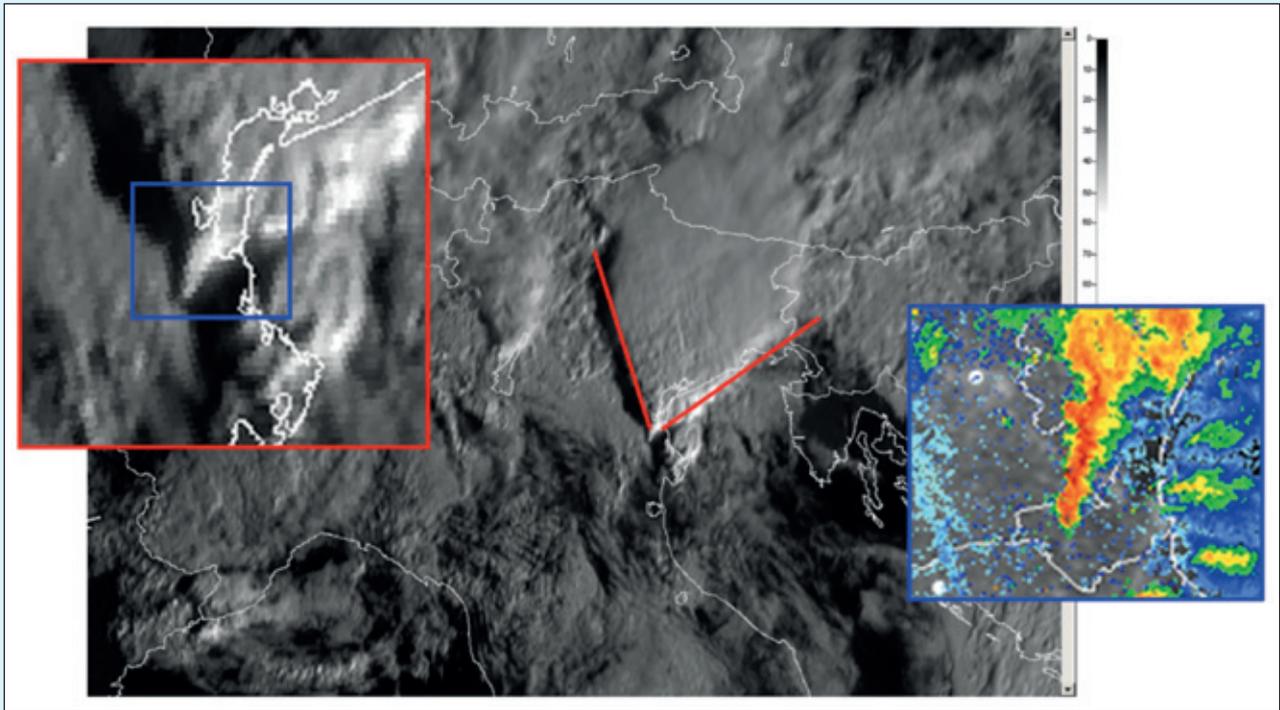


Fig. 11.54 - Immagine delle ore 8 solari del satellite MET-9, canale HRV visibile (copyright: EUMETSAT, elaborazione ARPAV-CMT). Nel riquadro a sinistra è ben evidente la parte più meridionale della V del sistema convettivo e nel riquadro azzurro a destra la corrispondente immagine radar con i singoli cumuli allineati lungo la direttrice S-N (*flanking line*).

i quantitativi siano risultati anche superiori a quelli registrati dalle stazioni.

Successivamente, alle ore 8 solari la perturbazione ha l'aspetto di un sistema convettivo a mesoscala con chiara forma a V (V-shape Mesoscale Convective System) (Fig. 11.53), in pratica un grande insieme di cumulonembi che si originano continuamente in un punto geografico (il vertice della V). La rigenerazione che continua in un unico punto

rappresenta l'elemento chiave capace di produrre i tipici effetti da *Flash Flood* (alluvione lampo) riscontrati in diverse aree geografiche.

Nel corso della mattinata il sistema multicellulare si sposta con estrema lentezza verso est e tra le 9 e le 10 solari inizia a diminuire di intensità, mentre negli stessi istanti un altro sistema multicellulare prende vita nell'area del Delta del Po. Questo secondo sistema si potenzierà nelle ore successive, ma spo-

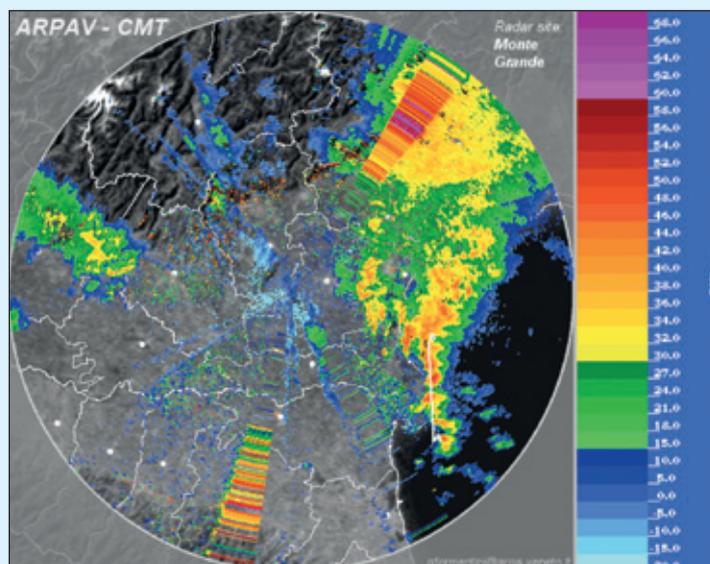


Fig. 11.55 - PPI di riflettività del radar di Monte Grande alle ore 10 solari circa.

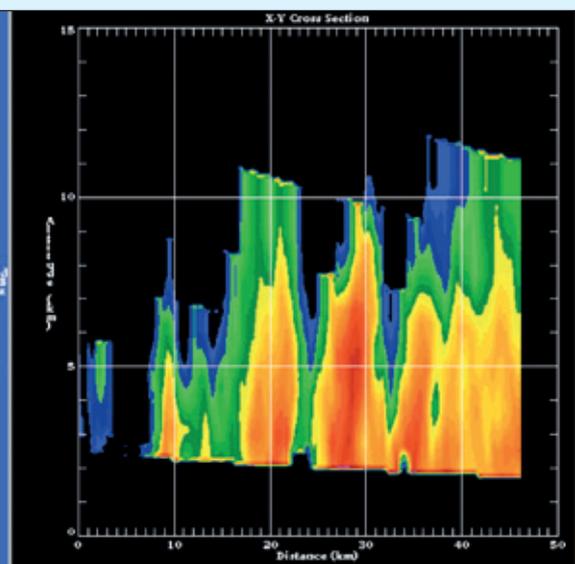


Fig. 11.56 - Sezione verticale dei dati radar di Monte Grande effettuata lungo la linea A-B della Fig. 11.53.

standosi sul mare non darà, in seguito, alcun effetto sulla terraferma (Figg. 11.55 e 11.56).

In sintesi le piogge molto intense e persistenti che hanno colpito l'area sono riconducibili alla formazione e alla continua rigenerazione sul posto di celle temporalesche alimentate nei bassi strati da correnti caldo-umide provenienti dal mare (ancora caldo dopo il periodo estivo). I fenomeni sono risultati particolarmente abbondanti e persistenti anche per un probabile effetto di convergenza di venti al suolo, verificatosi per diverse ore nell'area intorno alla laguna di Venezia, che hanno favorito lo sviluppo di celle temporalesche intense.

Riassumendo, gli elementi meteorologici chiave che hanno determinato l'evoluzione descritta sono stati:

- convergenza dei venti nei livelli più bassi dell'atmosfera, forti sul mare da sud-est fino in prossimità della costa e moderati/forti da nord-est sull'entroterra;
- trasporto dal mare di aria calda e umida e quindi molto instabile che contribuisce al potenziamento della convezione (ascesa di aria verso l'alto) e quindi allo sviluppo di celle temporalesche ulteriormente favorito dal contrasto termico tra terra e mare;
- la presenza di moderato *shear* (variazione della direzione del vento con la quota) ha favorito l'organizzazione della convezione in più sistemi multicellulari;
- i venti non particolarmente forti alle quote medie (3000-5000 metri) hanno contribuito alla persistenza della genesi dei cumulonembi (*flanking line*) nello stesso punto geografico;
- la presenza della corrente a getto alle alte quote (*left-exit region*), che genera divergenza dei venti in quota, ha intensificato la convergenza di basso livello.

#### Analisi dei dati registrati dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAV

Si riporta di seguito la mappa delle isoiete (Fig. 11.57), relative ai dati di precipitazione totale nelle 24 ore (tra le 00 e le 24 solari) del giorno 26.09.2007 rilevati dai 161 pluviometri della rete di stazioni meteorologiche dell'ARPAV.

Le precipitazioni più abbondanti risultano concentrate in prossimità della fascia costiera centro-meridionale del Veneto, tra l'estrema propaggine sud-orientale della provincia di Padova, il veneziano centrale e la parte meridionale della provincia di Treviso. Le stazioni che rilevano i totali pluviometrici maggiori sono: Valle Averso, nel comune di Campagna Lupia, (VE) con 324,6 mm, Mestre-Marghera (VE) con 260,4 mm, Mogliano Veneto (TV) con 166,4 mm, Mira (VE) con 166 mm, Codevigo (PD) con 160 mm, Roncade (TV) con 128 mm, Caval-

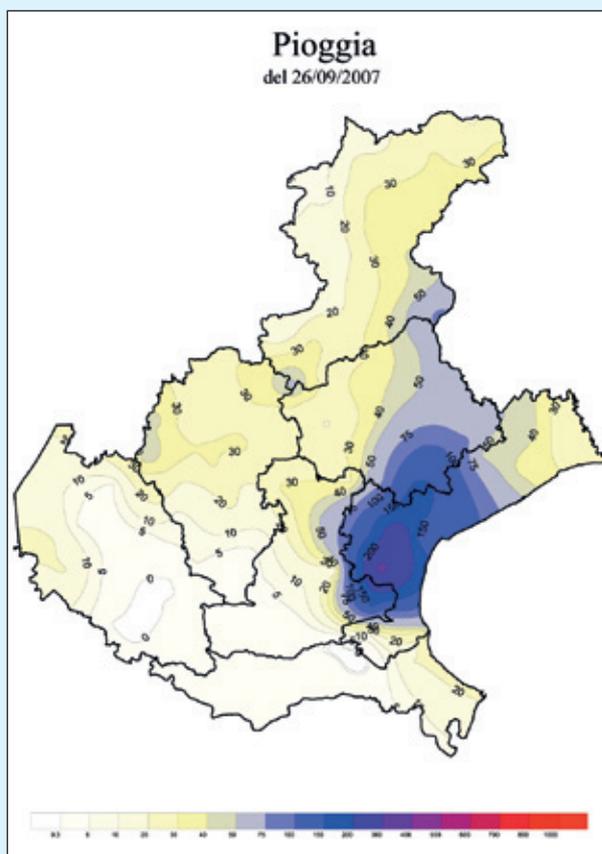


Fig. 11.57 - Mappa delle isoiete [mm] sul Veneto del giorno 26 settembre 2007, elaborata sulla base dei dati pluviometrici registrati dalle stazioni meteorologiche dell'ARPAV.

lino Treporti (VE) con 123 mm e Venezia - Istituto Cavanis con 119 mm.

Sul resto della regione si registrano 50-100 mm nel trevigiano centro-meridionale e orientale e nella zona del Cansiglio, altrove in prevalenza tra i 20 e i 50 mm salvo sulla pianura centro-occidentale e prealpi occidentali ove i quantitativi risultano inferiori se non assenti.

Nel grafico che segue (Fig. 11.58) sono riportati i diagrammi di precipitazione progressivamente accumulata dalle ore 01 alle ore 13 solari del 26 settembre in alcune delle stazioni più colpite: si distinguono tra tutte le due stazioni di Marghera e Valle Averso (linee blu e rossa rispettivamente) che già intorno alle ore 6.30 solari raggiungono i 100 mm, verso le ore 7 superano i 150 mm per raggiungere poco dopo i 200 mm e portarsi verso i 250 mm a Marghera e 300 mm circa a Valle Averso intorno alle ore 8.30-9.00. Per comprendere meglio l'intensità dei fenomeni registrati in queste due stazioni si sottolinea anche come il 90% circa della precipitazione totale registrata il 26 settembre sia caduta nell'arco di 6 ore e il 75% circa in sole 3 ore. Le altre stazioni assumono un andamento più contrastato, con quantitativi nettamente inferiori, in alcuni casi distribuiti su due o più fasi intense (Codevigo,

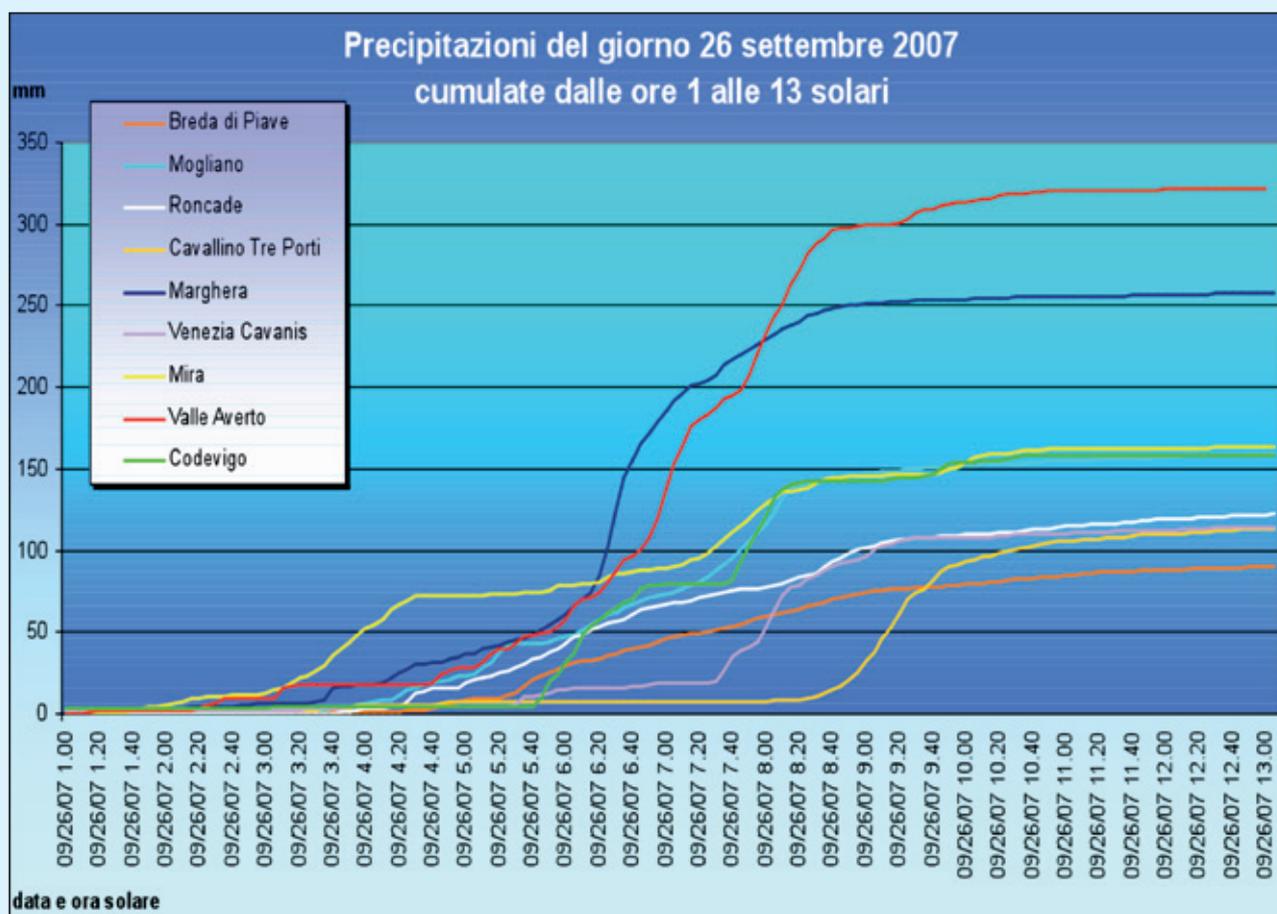


Fig. 11.58 - Andamento delle precipitazioni progressivamente accumulate dalle ore 1.00 (solari) alle ore 13 del 26 settembre 2007 registrate presso alcune stazioni meteorologiche.

Mira) in altri casi distribuiti in una singola fase più prolungata (Mogliano, Roncade, Breda di Piave) o più concentrata e sfasata di qualche ora in avanti (Cavallino Treporti e Venezia Istituto Cavanis).

#### **Confronto con alcuni eventi intensi registrati in passato, in particolare a Mestre**

Va segnalato che l'area in esame non è nuova ad eventi estremi specialmente in questa stagione. Pur non raggiungendo i valori eccezionali di questo evento, circa un anno prima, tra il 14 e il 17 settembre 2006, nella stessa zona si verificarono precipitazioni assai abbondanti. Presso la stazione di Mestre-Marghera furono registrati circa 225 mm in 3 giorni, di cui 110 mm circa in 12 ore, tra il giorno 14 e il 15, e 100 mm circa in 6 ore nelle prime ore del 15; a Mira furono registrati circa 220 mm in 3 giorni, di cui oltre 100 mm in 12 ore e 80 mm circa in 6 ore, tra il giorno 14 e il 15.

Un possibile confronto storico è rappresentato attraverso la tabella (Tab. 11.3) e il relativo grafico (Fig. 11.59) che seguono, ove sono riportate le massime intensità di precipitazione registrate a Mestre-Marghera in occasione del 26 settembre 2007 e i

massimi precedenti validi per Mestre, relativi al periodo 1992-2006 (fonte ARPAV) e al periodo storico disponibile dal 1956 al 1995 (fonte ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale). Nel grafico sono stati inoltre evidenziati, con le linee rosse orizzontali, i valori di precipitazione stimati aventi tempo di ritorno pari a 100 anni per gli intervalli da 1 ora a 12 ore (con legge di Gumbel sulla serie di dati disponibili tra il 1956 e il 1995).

Da tale confronto emerge chiaramente l'eccezionalità dei valori di pioggia registrati a Mestre in occasione dell'evento del 26 settembre 2007: in tutti gli intervalli temporali sono stati superati abbondantemente, anche di 2-3 volte, i valori massimi precedenti relativi sia al periodo 1992-2006 che al periodo 1956-1995 per gli intervalli da 1 ora a 12 ore.

	26-set-07	max 1992-2006	max 1956-1995
Intervallo temporale di riferimento	Mestre Marghera	Mestre (Palazzo Gazzettino+Marghera)	Mestre SIMN
5 minuti	<b>24 mm</b> 26/09/2007	<b>12,8 mm</b> 09/07/2001	
10 minuti	<b>42,2</b> 26/09/2007	<b>22,8</b> 09/07/2001	
15 minuti	<b>59,2</b> 26/09/2007	<b>33</b> 25/08/1994	
30 minuti	<b>91,2</b> 26/09/2007	<b>51,6</b> 25/08/1994	
45 minuti	<b>111,4</b> 26/09/2007	<b>55,2</b> 25/08/1994	
1 ora	<b>126,6</b> 26/09/2007	<b>55,6</b> 25/08/1994	<b>50,6 mm</b> 06/09/1972
3 ore	<b>201</b> 26/09/2007	<b>60,6</b> 06/07/1993	<b>90</b> 17/10/1990
6 ore	<b>246,8</b> 26/09/2007	<b>103,4</b> 15/09/2006	<b>107,6</b> 17/10/1990
12 ore	<b>257,6</b> 26/09/2007	<b>111,4</b> 15/09/2006	<b>129,8</b> 17/10/1990

Tab. 11.3 - Massime intensità di precipitazione registrate a Mestre-Marghera in occasione del 26 settembre 2007 e confronto con i massimi precedenti validi per Mestre, relativi al periodo 1992-2006 (fonte ARPAV) e al periodo storico disponibile dal 1956 al 1995 (fonte SIMN - ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale).

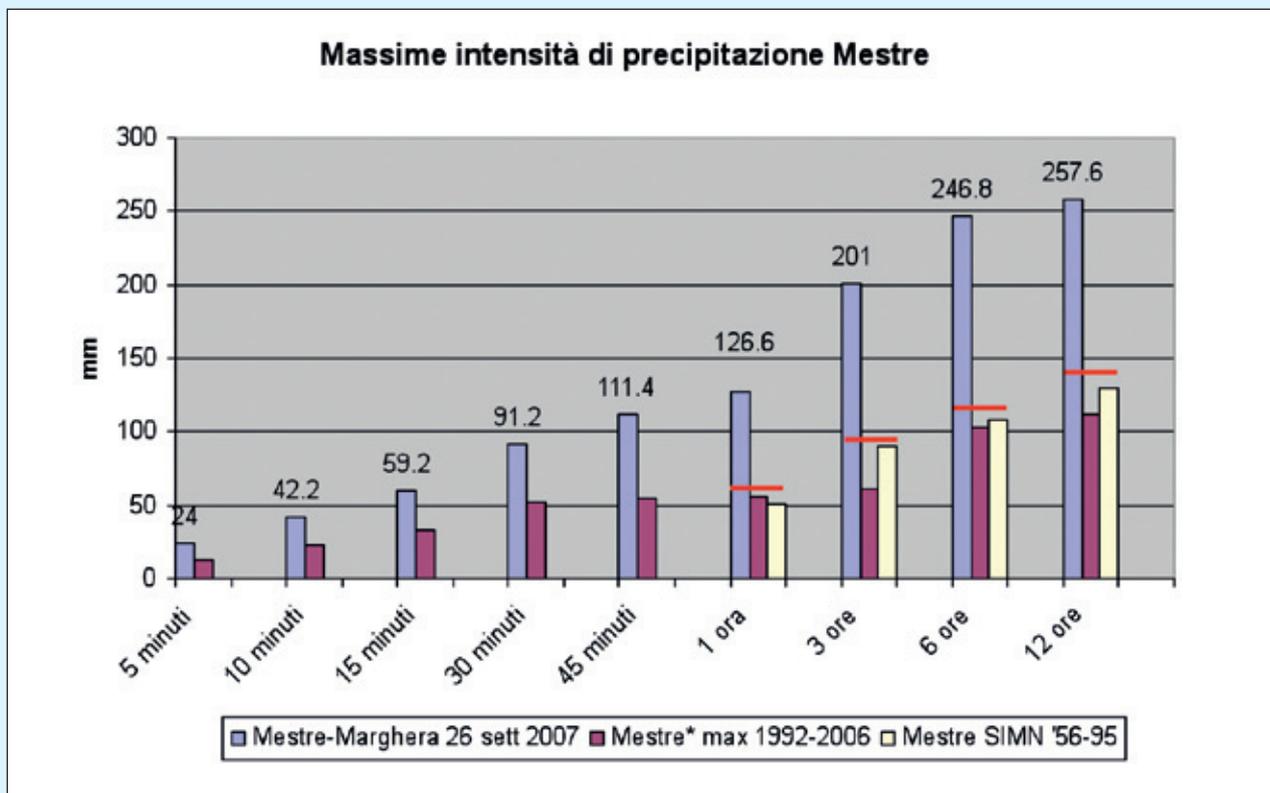


Fig. 11.59 - Confronto grafico tra le massime intensità di precipitazioni negli intervalli da 5 minuti a 12 ore, registrate il 26 settembre 2007 a Mestre-Marghera, e le massime intensità storiche registrate nei periodi 1992-2006 (fonte ARPAV) e 1956-1995 (fonte ex SIMN). Evidenziati con le linee rosse orizzontali, i valori di precipitazione stimati aventi tempo di ritorno pari a 100 anni per gli intervalli da 1 ora a 12 ore (con legge di Gumbel sulla serie di dati disponibili tra il 1956 e il 1995).