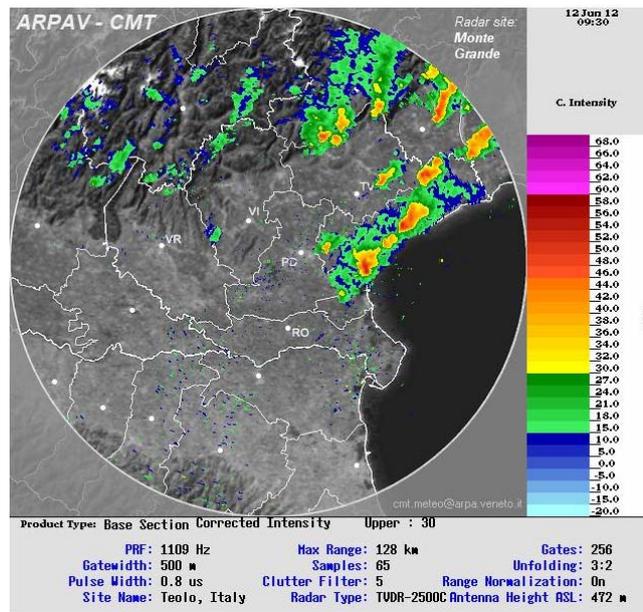




Consiglio regionale del Veneto
Unità complessa studi documentazione e biblioteca



EVENTI METEOROLOGICI ESTREMI

Dati e valutazioni sulla radicalizzazione del clima in Veneto

Segreteria regionale per gli affari generali, giuridici e legislativi - Dirigente Stefano Amadi
Unità complessa studi, documentazione e biblioteca - Dirigente Claudio Rizzato

Sito: <http://www.consiglioveneto.it/>

@ ucsdb@consiglioveneto.it

☎ 0412701612

📠 0412701622

Veneto Tendenze - Quaderno di documentazione
a cura dell'Unità complessa studi, documentazione e biblioteca

EVENTI METEOROLOGICI ESTREMI è stato curato da Giuseppe Sartori (biologo, Ufficio territorio CRV); con il contributo specialistico del Servizio Meteorologico dell'ARPAV (Dirigente Marco Monai) struttura del Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio (Direttore Alberto Luchetta).

Il Progetto di ricerca è stato realizzato dal gruppo di lavoro: Marco Monai, Adriano Barbi, Giovanni Cenzone, Francesco Rech, Roberta Racca, Andrea Rossa, Franco Zardini (Servizio Meteorologico); Gianni Marigo, Anselmo Cagnati, Thierry Robert Luciani (Servizio Neve e Valanghe); Bruno Renon (Servizio Idrologico).

Ha collaborato Serenella Poggi.

Riproduzione a cura del Centro stampa del Consiglio Regionale.

EVENTI METEOROLOGICICI ESTREMI.
Dati e valutazioni sulla radicalizzazione del clima in Veneto

INDICE

0. RINGRAZIAMENTI	Pag. 7
1. PREMESSA	Pag. 8
2. SOMMARIO	Pag. 10
3. IPCC E SCENARI CLIMATICI GLOBALI	Pag. 11
4 ANALISI REGIONALIZZATA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN VENETO	Pag. 23
5. RISULTATI E VALUTAZIONI	Pag. 29
6. RECENTI EVENTI PLUVIOMETRICI SIGNIFICATIVI IN VENETO	Pag. 63
7. ALTRI FENOMENI METEOROLOGICICI ESTREMI	Pag. 71
8. CONCLUSIONI	Pag. 93
9. BIBLIOGRAFIA	Pag. 94
10. SITOGRAFIA	Pag. 97
11.RIFERIMENTI	Pag. 98

...

*Al fin tu splendi! tempestoso e freddo
Copria nembo la terra; a gran volute
Gravide nubi accavallate il cielo
Empian di negre liste, e brontolando
Per l' ampiezza dell' aere tremendi
Rotolavano i tuoni, e lampi, lampi
Rompeano il buio orribile. — Tacea
Spaventata natura; il ruscelletto
Timido e lamentevole fra l'erbe
Volgeva il corso, nè stormian le frondi
Per la foresta, nè da l'atre tane
Sporgean le belve l'atterrita fronte.—
Ulularono i venti, e ruinaando
Tra grandini, tra folgori, tra piove
La bufera lanciosse, e riottoso
Diffuse il fiume le gonfie e spumose
Onde per le campagne, e svelti i tronchi
Striderono volando, e da' scommossi
Cigion dell'ondeggianti audaci rupi
Piombar torrenti, che spiccati massi
Coll'acque strascinarono. Dal fondo
D'una caverna i fremiti e la guerra
Degli elementi udii. Morte sull'antro
Mi s'affacciò gigante; ed io la vidi
Ritta: crollò la testa, e di natura
L'esterminio additommi. — In ciel spiegasti,
O Sol, tua fronte, e la procella orrenda
Ti vide e si nascose, e i paurosi
Irti fantasmi sparvero... Ma quanti
Segni di lutto sui vedovi campi,
Oimè, 'l nembo lasciò! Spogli di frutta,
Aridi e mesti sono i pria sì vaghi
Alberi gravi, e le acerbette e colme,
Promettitrici di liquor giocondo,
Uve giacciono al suol: passa l' armento
E le calpesta; e, istupidito e muto,
L'agricoltore le contempla e geme.
Intanto scompigliata, irta e piangente
Te, o Sol, riprega la natura, e il tuo
Di pianto asciugator raggio saluta.*

...

[da "Al Sole" di Ugo Foscolo - Poesie Giovenili]

0. RINGRAZIAMENTI

La realizzazione di questa monografia nasce dalla collaborazione con ARPAV che ha recentemente promosso una ricerca mirata a individuare eventuali *trend* nell'ambito degli eventi meteorologici estremi con un'attenzione particolare al territorio regionale.

Le conoscenze degli specialisti del Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio, operanti presso il Servizio Meteorologico e il Servizio Neve e Valanghe, sono state raccolte in uno specifico documento di ARPAV non pubblicato, dal titolo "RELAZIONE PRELIMINARE SUGLI EVENTI METEOROLOGICICI ESTREMI IN VENETO", rivisto ed integrato nell'occasione di questa informazione diretta ai Consiglieri regionali e alle strutture interessate dell'Amministrazione regionale del Veneto.

A tutti il sentito ringraziamento dell'Unità complessa studi documentazione e biblioteca.

1. PREMESSA

Il bilancio del disastro provocato dalle piogge alluvionali che hanno colpito il Veneto nel 2010, ma anche la Liguria e la Toscana nel 2011 è stato per le rispettive comunità regionali, gravissimo.

Le proteste prima e le polemiche poi sulla prevedibilità di tali eventi hanno occupato pagine e pagine dei giornali.

L'Unità Complessa Studi Documentazione Biblioteca stimolata da alcune corrispondenze con i decisori, ha registrato in Consiglio regionale del Veneto un deficit conoscitivo di questi fenomeni che rivelano il loro impatto disastroso anche in funzione della complessità della situazione urbanistico/territoriale al suolo.

Per tali ragioni l'Unità Complessa Studi Documentazione Biblioteca ha deciso di programmare per il 2012 l'avvio di una collaborazione con l'ARPAV, in qualità di Azienda regionale fortemente specializzata nella tematica, per veicolare ai consiglieri regionali le informazioni più adeguate a colmare questa necessità informativa, e per indagare se emergono dai più recenti studi regionali sul clima evidenze di cambiamenti e/o andamenti tali da suggerire/indurre particolari attenzioni, precauzioni, o modifiche di comportamenti delle comunità dei residenti.

Si riporta e dibatte spesso nelle cronache e nelle riviste scientifiche la casistica dei "*flash-flood*" ossia di precipitazioni di alta intensità seguite immediatamente da alluvioni improvvise che i modelli meteorologici e idrologici non riescono a descrivere con sufficiente precisione e previsione a causa dei rapidi tempi di evoluzione dei fenomeni e alla risposta purtroppo lenta delle autorità territoriali dei bacini idrici coinvolti a emettere le segnalazioni di allerta alle popolazioni coinvolte, soprattutto come nel caso dei fiumi e torrenti tipici nel territorio pedemontano e montano.

Si capisce che il problema in genere riguarda la relazione fra quanto più è elevata l'intensità di un evento di convezione intensa e quindi della precipitazione da esso prodotta, e il maggiore margine di errore nella sua previsione. Anche se i modelli numerici costituiscono lo strumento principale per quantificare il rischio di un evento calamitoso imminente, con alcune ore o alcuni giorni di anticipo, errori su tempistica, quantità e localizzazione delle piogge rendono difficoltoso l'utilizzo delle previsioni meteo ai fini dell'adozione di misure per la protezione della popolazione e delle cose.

La ricerca e la tecnologia hanno reso certamente più affidabili i modelli, ma risulta ancora problematico poter annunciare in anticipo precipitazioni temporalesche con una precisione che consenta allerte tempestive e puntuali.

L'Unità Complessa Studi Documentazione Biblioteca si pone pertanto due obiettivi:

1. capire se esistono evidenze statistico-climatiche che confermano particolari andamenti della quantità di precipitazioni a livello regionale (o meglio su alcuni territori o bacini idrografici) tali da consigliare particolari cautele o revisioni di standard territoriali così da evitare conseguenze già vissute nei recenti episodi.

2. avviare una convenzione per una collaborazione stabile con il Consiglio regionale per diramare con l'ausilio delle più moderne tecnologie informative, le

conoscenze meteo-climatiche ad una più ampia base di cittadinanza (soprattutto urbana) solitamente non interessata a questa fenomenologia di eventi.

Il presente lavoro vuole corrispondere al primo dei due obiettivi posti mettendo a frutto una ricerca già completata e non pubblicata dall'ARPAV – Servizio Meteorologico (struttura del Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio), che viene qui sintetizzata e integrata da alcune riflessioni sui cambiamenti climatici continentali e planetari globali, naturale scenario complementare ed imprescindibile per una aderente descrizione dei fenomeni e una conseguente adozione di indirizzi di politica territoriale necessari a far fronte alle nuove condizioni mesoclimatiche generantisi sui territori del Veneto.

2. SOMMARIO

Il Veneto è caratterizzato da una complessa fenomenologia in campo meteorologico. In questo ambito i fenomeni estremi costituiscono elemento caratterizzante e connesso alle peculiari caratteristiche geografiche e orografiche della Pianura Padana e delle aree limitrofe.

Precipitazioni particolarmente intense, forti raffiche di vento, trombe d'aria, e grandinate fanno parte del nostro clima. Tale fenomenologia è più probabile e frequente nel semestre caldo (maggio/ottobre).

Gli eventi estremi sono caratterizzati da forte localizzazione, interessando spesso ambiti assai limitati del territorio: una tromba d'aria ha dimensioni di poche decine di metri, la grandine può interessare "fasce" di territorio di poche centinaia di metri, i rovesci più intensi di un forte temporale possono essere limitati ad alcuni km².

L'estrema localizzazione dei fenomeni ne rende assai difficoltoso il monitoraggio, potendo essi sfuggire anche ad una rete di stazioni di rilevamento molto fitta.

Risulta quindi fondamentale utilizzare accanto agli strumenti a terra anche tecniche di *remote-sensing*, come il radar meteorologico e il satellite meteorologico.

Le difficoltà di rilevamento si ripercuotono anche sulla relativa scarsità di dati a disposizione per uno studio approfondito dei fenomeni in questione. In particolare risulta difficile la trattazione statistica dei dati e ancor più la valutazione di eventuali trend evolutivi.

Pur tuttavia si ritiene di particolare importanza lo studio dei fenomeni intensi per almeno 2 ragioni fondamentali:

1) forte impatto su una struttura territoriale, qual è quella del Veneto, assai articolata e certamente più vulnerabile rispetto al passato; insediamenti abitativi, siti produttivi, strutture turistiche -ricettive in continuo aumento rendono il Veneto particolarmente sensibile al problema;

2) estrema rilevanza ed eco nei media che danno una percezione di fenomenologia in aumento anche a prescindere dall'eventuale *trend* effettivo.

Da ultimo non va sottaciuta l'importanza dello studio degli eventi estremi in riferimento all'eventuale programmazione di interventi di mitigazione degli effetti sul territorio.

Il presente studio ha l'obiettivo di fornire un quadro della realtà veneta degli ultimi decenni in tema di fenomeni meteorologici estremi, valutando con i dati e le informazioni disponibili presso ARPAV-Dipartimento per la Sicurezza del Territorio, cosa è successo e soprattutto se vi siano state delle tendenze evolutive nell'andamento dei principali fenomeni meteorologici intensi registrati.

3. IPCC E SCENARI CLIMATICI GLOBALI

L'analisi di questi fenomeni però non può assolutamente prescindere da una considerazione sull'attenzione rivolta, ormai in ogni angolo del pianeta, verso i cambiamenti climatici globali che condizionano sicuramente questi fenomeni locali i quali, anzi, sono avvertiti come esiti probabili dell'influenza antropogenica all'alterazione degli equilibri climatici pregressi.

Di questo delicato tema se ne occupa da tempo l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) un'istituzione, sotto l'egida delle Nazioni Unite, che è compartecipata dall'UNEP (*United Nations Environment Programme*) e dal WMO (*World Meteorological Organization*), mediante la pubblicazione di periodici rapporti.

Il compito specifico dell'IPCC è quello di studiare in maniera scientifica lo stato dei cambiamenti climatici e le loro potenziali conseguenze a livello ambientale, socio-economico e territoriale.

Ma cosa si intende per cambiamento climatico: "*è un cambiamento nello stato del clima che può essere identificato (per es. utilizzando metodi statistici) attraverso cambiamenti nelle medie e/o nella variabilità delle loro proprietà, e che persiste per un determinato periodo, tipicamente decenni, o periodi più lunghi. Esso si riferisce ad ogni cambiamento nel clima, sia per effetto della variabilità naturale che come risultato delle attività umane*".

A livello di cambiamenti climatici globali, la maggiore evidenza riguarda il riscaldamento dello strato atmosferico che circonda la biosfera terrestre; esso viene ormai considerato un dato inequivocabile, evidenziato in particolare da un aumento della temperatura media globale dell'aria¹, delle temperature degli oceani, dal diffuso scioglimento di nevi e ghiacci e dall'aumento del livello medio globale dei mari. A dimostrazione di ciò si sottolinea che undici dei dodici anni precedenti la pubblicazione del quarto rapporto IPCC (periodo 1995-2006) risultano essere tra i primi dodici anni più caldi da quando si effettuano misurazioni (1850). Il *trend* lineare di aumento della temperatura per 100 anni (1906-2005) risulta essere pari a +0.74 °C (da 0.56 a 0.92); particolare rilevanza assume il fatto che il *trend* lineare per decadi degli ultimi 50 anni (1956-2005), pari a 0.13 °C, è vicino al doppio di quello secolare sopra riportato, a dimostrazione di una notevole accelerazione del processo di riscaldamento negli ultimi decenni.

L'aumento di temperatura risulta maggiore alle più alte latitudini settentrionali; in particolare la temperatura media artica è aumentata del doppio di quanto avvenuto nel resto del globo; più in generale la temperatura media dell'emisfero settentrionale durante la seconda metà del 20° secolo è probabilmente la più elevata di qualsiasi altro cinquantennio degli ultimi 500 anni e probabilmente la più alta degli ultimi 1300 anni. Inoltre le superfici terrestri si sono riscaldate maggiormente rispetto agli oceani.

Anche la riduzione delle superfici innevate e delle estensioni ghiacciate è coerente con il riscaldamento. Per quanto riguarda i ghiacciai montani essi

¹ Che corrisponde alla temperatura media dell'aria rilevata sopra la terra emersa e quella rilevata sopra alla superficie del mare.

risultano in ritiro in entrambi gli emisferi, anche se le maggiori riduzioni si osservano nell'emisfero Nord.

L'analisi dell'IPCC non considera però solo le variazioni di temperature, ma analizza anche altre variabili meteo-climatiche quali la distribuzione e l'ammontare delle precipitazioni.

Le variazioni osservate nel regime pluviometrico sono estremamente diversificate in funzione della posizione geografica, riscontrandosi, in particolare per il settore europeo, un aumento della precipitazioni complessive nell'Europa del Nord ed una diminuzione in area mediterranea.

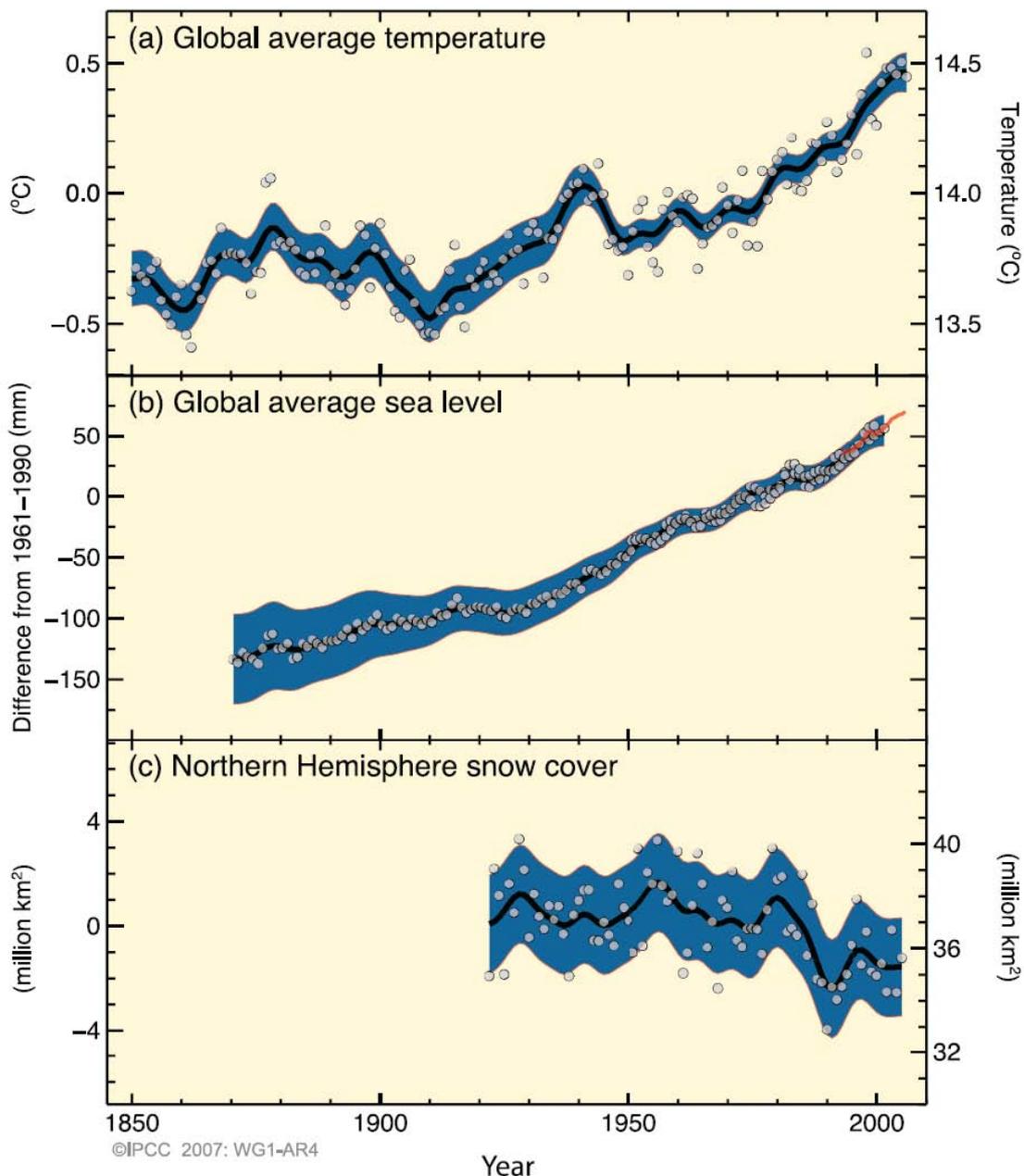


Fig. 1 - Cambiamenti medi globali osservati nelle temperature, livello del mare e copertura nevosa nell'emisfero nord. (Fonte IPCC-AR4, 2007)

I fenomeni estremi

In dipendenza principalmente dall'aumento delle temperature, sono state osservate delle variazioni nella frequenza e nell'intensità di alcuni fenomeni estremi negli ultimi 50 anni; in particolare:

- È molto probabile che i giorni freddi, le notti fredde ed il gelo siano diventati meno frequenti sulla maggior parte delle aree terrestri, mentre i giorni caldi e le notti calde siano diventate più frequenti.
- È probabile che le ondate di calore siano diventate più frequenti sulla maggior parte delle aree terrestri.
- È probabile che la frequenza di eventi di precipitazioni intense (o la proporzione delle piogge totali provenienti da piogge intense) sia aumentata sulla maggior parte delle aree terrestri.
- È probabile che l'incidenza di valori estremi di livello del mare sia aumentata in molti siti a livello mondiale dal 1975.

Le proiezioni future

I lavori dell'IPCC, oltre a riguardare lo studio degli avvenuti cambiamenti climatici, ne analizzano la causa, che viene definita per la maggior parte antropogenica e solo in parte naturale, e prospettano, attraverso l'uso di modellistica rapportata a diversi possibili scenari di emissioni di gas serra di origine antropica, l'evoluzione futura del clima e l'andamento futuro delle variabili meteo-climatiche.

Per quanto riguarda l'aumento delle temperature, per la serie di possibili scenari previsti, è da aspettarsi un *trend* di circa 0.2 °C per decade nelle prossime due decadi. Tale proiezione è supportata dai riscontri evidenziati dall'aumento realmente misurato di 0.2 °C per decade tra il 1990 e il 2005, a fronte di una proiezione modellistica a suo tempo compresa tra 0.15 e 0.3 °C.

Tab. 1 - Proiezioni del riscaldamento medio globale alla superficie e dell'innalzamento del livello del mare medio globale per la fine del XXI secolo basate su diversi scenari descritti nel riquadro a pag. 14 (fonte IPCC-AR4, 2007)

Scenario	Cambiamenti di temperatura (in °C nel 2090-2099 rispetto al periodo 1980-1999)"	Aumento del livello del mare (m nel 2090- 2099 rispetto al periodo 1980-1999)	
	<i>Migliore stima</i>	<i>Probabile range</i>	<i>Range basato su modelli escludendo futuri rapidi cambiamenti nei flussi del ghiaccio</i>
Concentrazione costante rispetto al 2000	0.6	0.3-0.9	[Non disponibile]
B1	1.8	1.1 -2.9	0.18-0.38
A1T	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
B2	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
A1B	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
A2	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
A1FI	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

Il riscaldamento previsto nel 21° secolo mostra una distribuzione geografica del tutto simile a quella osservata nelle ultime decadi. Si prevede che sarà maggiore sulle terre emerse e alle latitudini più settentrionali, minore sugli oceani meridionali (in prossimità dell'Antartide) e sul Nord Atlantico, mostrando una continuità con i recenti *trends* osservati.

Gli Scenari di Emissione dell'IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES)¹⁷

A1. La famiglia di scenari A1 descrive un mondo futuro caratterizzato da una crescita economica molto rapida, con la popolazione globale che raggiungerà un massimo a metà secolo per poi declinare, e con una rapida introduzione di tecnologie nuove e più efficienti. I temi dominanti sono le convergenze regionali, il *capacity building* e l'aumento delle interazioni culturali e sociali, con una sostanziale diminuzione delle differenze regionali di reddito pro-capite. La famiglia di scenari A1 si sviluppa in tre gruppi che descrivono direzioni alternative dei cambiamenti tecnologici del sistema energetico. I tre gruppi si distinguono dalla loro enfasi tecnologica in: fossile intensivo (A1FI), fonti di energia non fossile (A1T) o un bilancio fra tutte le fonti (A1B) (dove per bilancio si intende una non eccessiva dipendenza da nessun tipo particolare di fonte energetica, presumendo che si possa applicare a tutte le risorse energetiche e alle tecnologie finali tassi di miglioramento simili).

A2. La famiglia di scenari A2 descrive un mondo molto eterogeneo. Il tema dominante è l'auto-sufficienza e la preservazione delle identità locali. La natalità fra le regioni converge molto lentamente, con un conseguente continuo aumento della popolazione. Lo sviluppo economico è essenzialmente orientato su base regionale e la crescita economica pro-capite e i cambiamenti tecnologici sono molto frammentati e più lenti rispetto alle altre trame.

B1. La famiglia di scenari B1 descrive un mondo convergente con la stessa popolazione globale che, come per la trama A1, raggiungerà un massimo a metà secolo per poi declinare, ma con un rapido cambio delle strutture economiche verso un'economia dell'informazione e dei servizi, con una riduzione dell'intensità dei materiali e l'introduzione di tecnologie pulite e che sfruttano le risorse in modo efficiente. Viene data molta importanza alle soluzioni globali per l'economia, alla sostenibilità sociale ed ambientale, includendo un miglioramento dell'equità, ma senza ulteriori iniziative climatiche.

B2. La famiglia di scenari B2 descrive un mondo in cui l'enfasi è sulle soluzioni locali per la sostenibilità economica, sociale ed ambientale. E' un mondo in cui la popolazione globale cresce continuamente, ad un tasso minore della famiglia A2, con livelli intermedi di sviluppo economico e cambiamenti tecnologici meno rapidi e più diversificati rispetto alle trame B1 e A1. Mentre anche lo scenario è orientato verso la protezione ambientale e l'equità sociale, si focalizza sui livelli locali e regionali.

Per ognuno dei sei gruppi di scenari A1B, A1FI, A1T, A2, B1 e B2 è stato scelto uno scenario illustrativo. Essi dovrebbero essere considerati tutti ugualmente plausibili.

Gli scenari SRES non includono ulteriori iniziative climatiche, il che significa che nessuno scenario include gli effetti dell'implementazione della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite per i Cambiamenti Climatici (UNFCCC) o degli obiettivi di emissione del Protocollo di Kyoto.

Si prevede che la copertura nevosa sarà in diminuzione, con diffusi aumenti nella quota di disgelo, nella maggior parte delle aree interessate da *permafrost*².

Tutti gli scenari prevedono il ritiro del ghiaccio marino sia nell'Artico che in Antartide, con alcune proiezioni che ipotizzano la totale scomparsa del ghiaccio marino artico nella tarda estate. Viene previsto, come molto probabile, l'aumento di frequenza di caldi estremi, ondate di calore e precipitazioni intense. Continuando la tendenza osservata nell'ultimo mezzo secolo, si prevede che le traiettorie dei cicloni extra-tropicali risulteranno maggiormente dirette verso i poli, con conseguenti cambiamenti nel regime di venti, precipitazioni e temperature. Rispetto al precedente rapporto IPCC (n.3) è stata approfondita la conoscenza delle proiezioni temporali dei campi di precipitazione; si ritengono probabili incrementi nelle precipitazioni totali alle alte latitudini e decrementi delle precipitazioni nella maggior parte delle regioni sub-tropicali, proseguendo i recenti *trends* osservati.

Per quanto riguarda in particolare l'Europa:

- È previsto che i cambiamenti climatici possano amplificare le differenze regionali nelle risorse e negli assetti naturali europei. Gli impatti negativi includeranno maggiori rischi di *flash-floods*, più frequenti inondazioni costiere e maggiore erosione (a causa delle tempeste e dell'aumento del livello del mare).
- Le aree montane vedranno il ritiro dei ghiacciai, la riduzione della copertura nevosa con effetti sul turismo invernale e la riduzione della biodiversità.
- Nell'Europa meridionale è previsto un peggioramento delle condizioni generali (alte temperature e siccità) in regioni già vulnerabili per la variabilità climatica, con conseguente riduzione della disponibilità idrica, con effetti negativi sulle produzioni idroelettriche e sul turismo estivo ; in generale è prevista una perdita di produttività dei suoli.
- È anche previsto che i cambiamenti climatici (ondate di calore) aumentino i rischi per la salute umana e rendano più frequenti gli incendi forestali.

Con particolare riguardo agli eventi estremi, l'alterata frequenza ed intensità degli stessi, assieme all'aumento del livello del mare, potrà apportare effetti, per lo più negativi per i sistemi naturali ed umani.

Viene di seguito riportato (**Tab. 2**) uno schema riassuntivo dei principali fenomeni e tendenze previste con degli esempi relativi ai principali impatti in diversi settori.

² Il *permafrost*, o permagelo, è un terreno dove il suolo è perennemente ghiacciato (non necessariamente con presenza di masse di acqua congelata). Convenzionalmente con questo termine si indica un terreno ghiacciato da almeno 2 anni.

Tab. 2: Principali fenomeni e tendenze previste con esempi relativi ai principali impatti in diversi settori.

Fenomeno e tendenza	Probabilità dei trends futuri basati sulle proiezioni per il 21° secolo	Esempi dei maggiori impatti previsti per diversi settori			
		<i>Agricoltura, foreste ed ecosistemi</i>	<i>Risorse Idriche</i>	<i>Salute umana</i>	<i>Industria, insediamenti società</i>
Sulla maggior parte delle aree terrestri meno giorni e notti fredde, più miti; più frequenti e più caldi giorni e notti calde	Virtualmente certo	Aumento delle produzioni negli ambienti più freddi; diminuzione delle produzioni negli ambienti più caldi; aumento delle invasioni di insetti	Effetti sulle risorse idriche correlati con la fusione della neve; effetti sulle disponibilità idriche	Riduzione della mortalità umana per la riduzione dell'esposizione al freddo	Riduzione della richiesta di energia per il riscaldamento; aumento della domanda di energia per refrigeramento; riduzione della qualità dell'aria nelle città; riduzione delle interruzioni ai trasporti per neve e ghiaccio; effetti sul turismo invernale
Aumento della frequenza di periodi caldi e ondate di calore nella maggior parte delle aree terrestri	Molto probabile	Riduzione delle produzioni nelle regioni più calde a causa di stress da calore; aumento del pericolo di incendi forestali	Aumento della domanda di acqua; problemi di qualità dell'acqua, per esempio fioritura di alghe	Aumento dei rischi di mortalità correlati al calore specialmente per gli anziani, i malati cronici, le persone molto giovani e isolate socialmente	Riduzione della qualità della vita per le persone che vivono nelle aree calde in abitazioni non appropriate; impatti sugli anziani, bambini e poveri
Aumento della frequenza di eventi di precipitazioni intense sulla maggior parte delle aree	Molto probabile	Danneggiamento dei suoli per erosione e inabilità alla coltivazione dei terreni per dilavamento	Effetti negativi sulla qualità delle acque di superficie, sotterranee; contaminazione delle risorse idriche; la scarsità d'acqua potrebbe essere ridotta	Aumento del rischio di morti, lesioni e infezioni, di malattie della pelle e respiratorie	Danneggiamenti a insediamenti di commercio, di trasporti e della società a causa delle inondazioni: pressioni sulle infrastrutture urbane e rurali; perdite di proprietà
Aumento delle aree affette da siccità	Probabile	Degradazione dei suoli; minori e mancate produzioni, danneggiamento dei suoli	Stress idrico maggiormente diffuso	Aumento del rischio di inondazioni e carenza di acqua; aumento del rischio di malnutrizione; aumento del rischio di malattie veicolate da acqua e cibo	Carenza di acqua per insediamenti, industrie e società; potenziale riduzione della generazione di energia idrica; potenziale innesco di fenomeni migratori
Aumento dell'attività di intensi cicloni tropicali	Probabile	Danneggiamento dei suoli; sradicamento di alberi a causa dei venti; danni alla barriera corallina	Interruzioni di erogazione di energia con conseguente interruzione della disponibilità di acqua per uso pubblico	Aumento del rischio di morti, lesioni e malattie generate da acqua e cibo; disordini per stress post-traumatici	Danneggiamenti per inondazioni e forti venti; diminuzione della copertura dei rischi nelle aree vulnerabili da parte di assicurazioni private; rischi potenziali di migrazioni di popolazioni; perdite di proprietà
Aumento dell'incidenza di livelli estremamente elevati del mare (esclusi gli tsunami)	Probabile	Salinizzazione dell'acqua per irrigazione, negli estuari e nei sistemi di acqua dolce [risalita del cuneo salino]	Diminuzione della disponibilità di acqua dolce a causa delle intrusioni di acqua salata [risalita del cuneo salino]	Aumento del rischio di morte o lesioni per annegamento nelle inondazioni; morti correlate agli effetti delle migrazioni	Costi di protezione delle coste contro costi di ripristino degli usi dei suoli; rischi potenziali per il movimento di popolazioni e spostamento di infrastrutture;

Eventi climatici estremi: tendenze attuali sull'Italia

La comunità scientifica climatica italiana negli ultimi anni ha svolto, e svolge, un interessante lavoro per evidenziare lo stato della nostra ricerca nei diversi aspetti in cui si esplica il tema dei cambiamenti climatici.

Lo studio a cura di Sergio Castellari e Vincenzo Artale, edito dal Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC, 2009) propone un quadro generale delle più recenti ricerche e dei contributi dei maggiori esperti nazionali del settore, di cui di seguito si riportano le principali indicazioni.

Attualmente, sul territorio italiano, è in corso un aumento delle temperature massime e minime giornaliere, collegato ad un aumento della temperatura media e coerente con l'aumento della frequenza delle ondate di calore (triplicatasi negli ultimi anni).

Attualmente, dai dati elaborati, risulta che sul territorio italiano è in corso una lieve diminuzione delle **precipitazioni totali**, una significativa diminuzione del **numero di giorni piovosi**, mentre la **frequenza** di quelli **con precipitazioni intense** è in aumento in alcune regioni dell'Italia settentrionale (Triveneto, Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna).

In generale, la diminuzione degli eventi di bassa intensità e l'aumento degli eventi più intensi è il sintomo di una estremizzazione della distribuzione delle precipitazioni.

Per quanto riguarda le precipitazioni giornaliere in Italia, le stesse possono raggiungere valori elevati. L'analisi statistica della distribuzione giornaliera della precipitazione suggerisce di suddividere l'Italia in cinque regioni: Nord Ovest, Nord-Est Nord (parte montana e pedemontana del Triveneto e Lombardia), Nord-Est Sud (pianura veneto-friulana ed emiliano-romagnola), Centro, Sud con comportamento in parte differenziato per precipitazioni totali, numero di giorni piovosi e intensità di precipitazioni.

Dall'analisi dei *trend* annuali della precipitazione totale si osserva una tendenza generale, nelle regioni settentrionali, ad una diminuzione del contributo relativo alle precipitazioni di bassa intensità ed un aumento degli eventi più intensi. Questo è particolarmente evidente nelle serie annuali delle aree Nord-Ovest e Nord-Est Sud, dove quasi tutte le categorie presentano *trend* significativi (**negativi** per quelle di **bassa intensità** e **positivi** per quelli di **alta intensità**).

Per quanto riguarda i *trend* annuali della frequenza degli eventi, da un lato è presente un andamento negativo altamente significativo nel numero di eventi di bassa intensità, che è evidente in tutte le regioni sia a livello annuale, sia nella maggior parte delle stagioni. D'altra parte è evidente un *trend* positivo del numero di eventi intensi in alcune regioni settentrionali (Nord-Est Nord, Nord-Est Sud).

In sintesi, tutto il territorio italiano è caratterizzato da una forte diminuzione del numero di eventi di bassa intensità e solo alcune regioni dell'Italia settentrionale mostrano un aumento della frequenza degli eventi di forte intensità. Ovvero, soprattutto nell'Italia peninsulare, l'aumento del contributo relativo alle precipitazioni totali dato dagli eventi più intensi è principalmente legato ad una diminuzione del numero di giorni con piogge deboli, mentre l'aumento dei giorni con piogge intense è meno evidente. In generale, la diminuzione degli eventi di bassa intensità e l'aumento degli eventi più intensi è il sintomo di una estremizzazione della distribuzione delle precipitazioni italiane.

Tendenze in Veneto. I dati annuali e stagionali di precipitazione cumulata dal 1956 al 2004.

Per quanto riguarda la realtà regionale, le indicazioni finora emerse dagli studi effettuati, sulla base della serie storica disponibile dell'ex Ufficio Idrografico di Venezia relativa al periodo 1956-2004, evidenziano una generale tendenza alla diminuzione delle precipitazioni annuali e invernali. L'analisi di discontinuità in particolare permette di individuare, all'interno del periodo analizzato, un cambio di fase nel regime pluviometrico collocabile intorno alla metà degli anni '80. Di seguito si riportano, in maggior dettaglio i risultati ottenuti da uno dei più recenti studi effettuati per il periodo 1956-2004 relativo all'andamento delle precipitazioni in Veneto.

Analisi delle precipitazioni annuali e stagionali

Analizzando le serie di dati di precipitazione, rilevati nel periodo 1956-2004 da 49 stazioni dell'Ufficio Idrografico, scelte per la continuità e qualità dei dati, sono stati individuati *trend* lineari negativi di precipitazione significativi (con livello di probabilità superiore al 95%) nei totali di precipitazione annua e, a livello stagionale, nella precipitazione invernale. Nell'istogramma (**Fig. 2**) è riportato l'andamento delle precipitazioni annue dal 1956 al 2004 (effettuando una media dei valori rilevati dalle 49 stazioni);

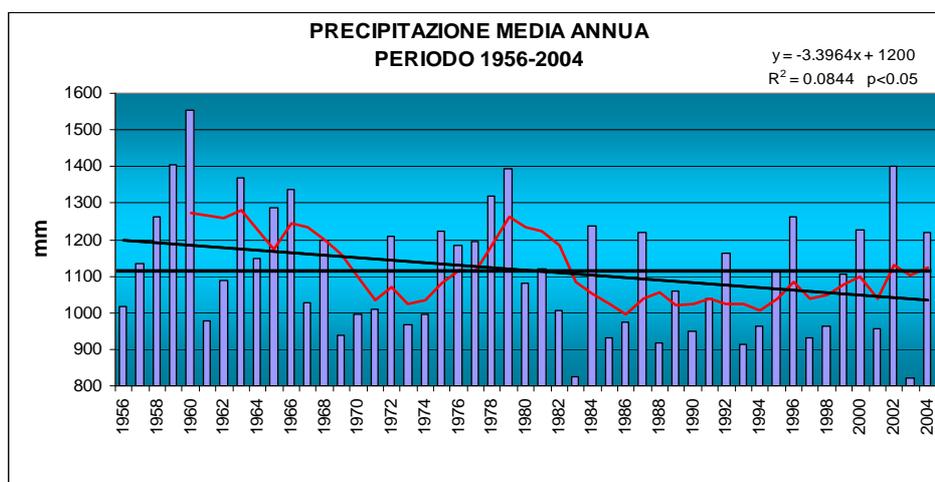


Fig. 2 - Andamento delle precipitazioni annue sul Veneto (media di 49 stazioni) dal 1956 al 2004. La linea rossa rappresenta la media mobile su periodi di 5 anni, la retta nera inclinata rappresenta una stima del trend lineare mentre la retta nera orizzontale è il valore medio della precipitazione annua calcolata sull'intero periodo 1956-2004.

Dall'analisi dei valori stagionali di precipitazione si è rilevato che il segnale di decremento degli apporti è significativo solo nel periodo invernale (dicembre-febbraio). L'istogramma (**Fig. 3**) rappresenta l'andamento delle **precipitazioni medie del periodo invernale** tra il 1956 ed il 2004, la curva rossa rappresenta la media mobile di tali valori su periodi di 5 anni, la retta nera rappresenta il trend lineare di decremento delle precipitazioni invernali.

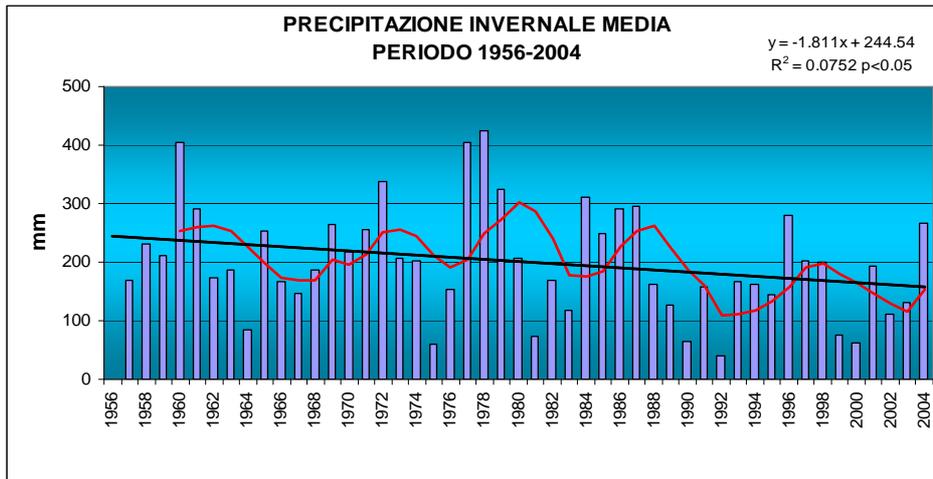


Fig. 3 - Andamento delle precipitazioni invernali (da dicembre a febbraio) sul Veneto (media di 49 stazioni) dal 1956 al 2004. La linea rossa rappresenta la media mobile su periodi di 5 anni, la retta nera inclinata rappresenta una stima del *trend* lineare.

La **Fig. 4** riporta, per le precipitazioni invernali, i risultati dell'analisi di discontinuità; essa evidenzia una brusca variazione di tali valori verificatasi intorno alla metà degli anni '80 e probabilmente collocabile nell'anno 1987. Per il periodo 1956-1987 può essere individuata a livello regionale una rappresentativa precipitazione media invernale di 228 mm mentre per il successivo periodo tale media si attesta su valori di 150 mm.

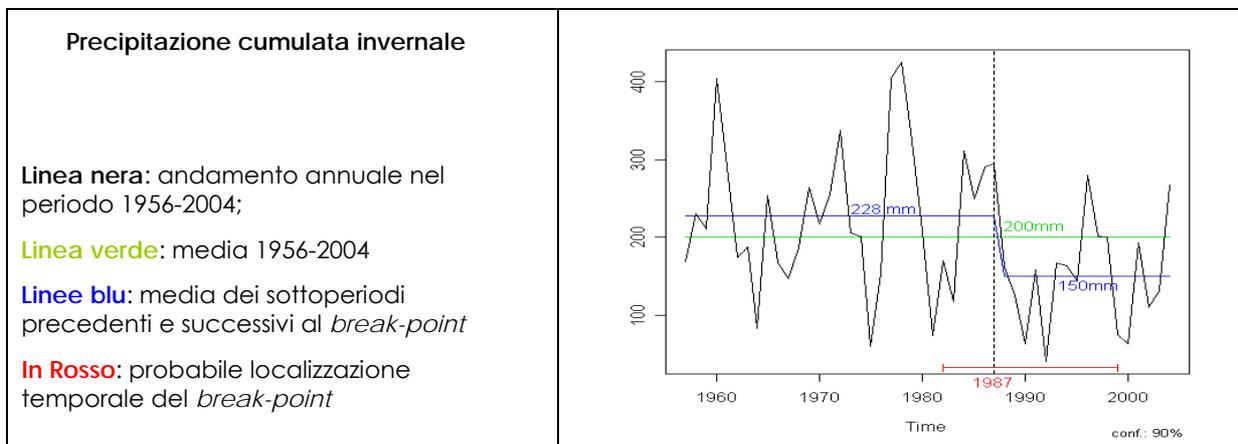


Fig. 4 - Analisi di discontinuità delle precipitazioni invernali dal 1956 al 2004.

Pertanto l'analisi di discontinuità evidenzia il fatto che la precipitazione cumulata nel periodo invernale ha registrato un decremento medio di 78 mm dopo il 1987 e fino al 2004.

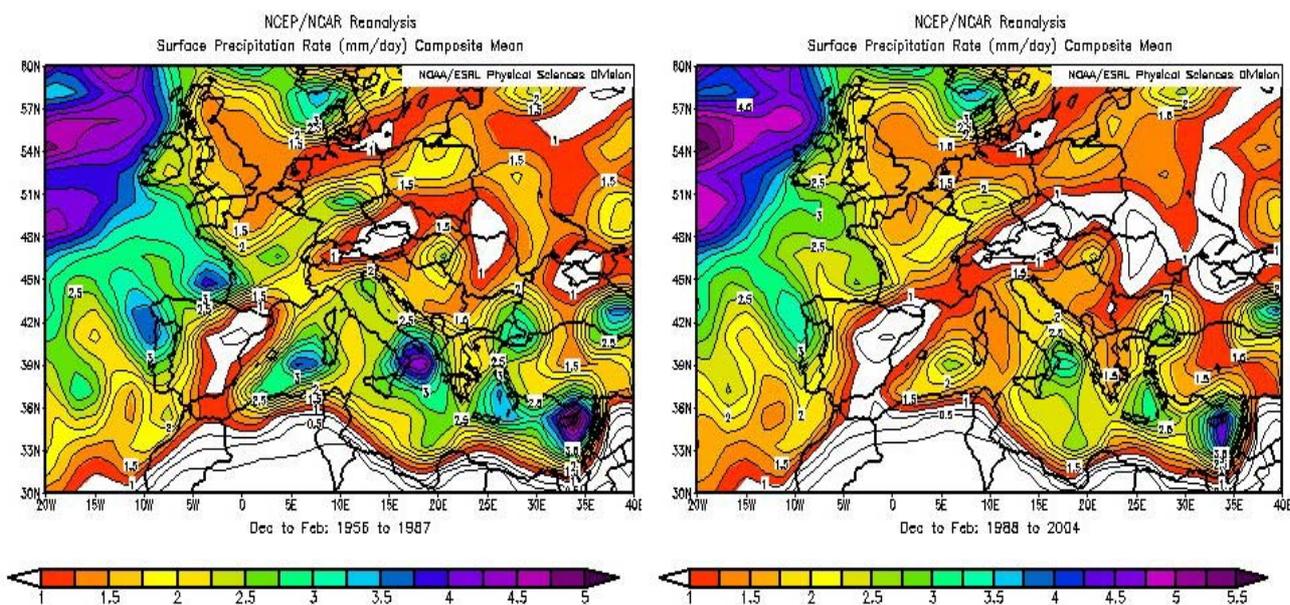


Fig. 5 - Precipitazioni medie invernali a scala europea espresse in mm/giorno relative al periodo 1956-1987 (a sinistra) e al periodo 1988-2004 (a destra).

Anche analizzando le carte europee delle isoiete³ (Fig. 5) del periodo invernale (dicembre-febbraio) può essere trovato un riscontro della diminuzione delle precipitazioni invernali evidenziato dalle analisi a scala regionale. Le precipitazioni sono espresse in mm/giorno, i dati sono ricavati dalla rete di stazioni al suolo del W.M.O. (fonte NOAA NCEP/NCAR Reanalysis). Nella parte sinistra dell'immagine sono riportate le medie invernali del periodo 1955-'87, mentre a destra sono riportate le medie invernali del periodo 1988-2004. E' ben evidente l'espansione, in questo secondo periodo, dell'area bianca (< 1 mm/ giorno) e dell'area rossa (1÷1,25 mm/giorno) sull'Italia settentrionale, accompagnata da una generale diminuzione della piovosità invernale sull'intera area iberico-mediterranea.

Il calo delle precipitazioni annue registrato in Veneto nel periodo in analisi, sembra dunque attribuibile in gran parte alla diminuzione delle precipitazioni avuta durante la stagione invernale. Tale diminuzione, riscontrabile peraltro anche a scala spaziale più ampia, in particolare sull'Europa meridionale, può essere associata, così come evidenziato da diversi autori nonché da una specifica analisi di correlazione condotta per il territorio regionale dal Centro Meteorologico di Teolo⁴ ad una tendenza crescente nel corso del periodo analizzato di situazioni, a livello di circolazione atmosferica nell'area Euro-Atlantica, contraddistinte da fasi positive della *North Atlantic Oscillation* (NAO)⁵,

³ Isoiete: sono curve chiuse che in un cartogramma individuano mediante linee tutti i luoghi che ricevono la stessa quantità di precipitazioni.

⁴ A.Barbi, A.Chiaudani et al., 2007 (cfr. 9.1 Bibliografia)

⁵ L'Oscillazione Nord Atlantica è un sistema di circolazione atmosferica localizzato nell'Oceano Atlantico settentrionale e caratterizzato dalla fluttuazione ciclica (oscillazione) della differenza di pressione al livello del mare tra l'Islanda e le Azzorre. Attraverso il moto di oscillazione est-ovest

soprattutto nel periodo invernale e a partire dall'inizio degli anni '80. Tale oscillazione, stimabile attraverso le anomalie delle differenze di pressione tra due poli opposti posizionati nel Nord Atlantico e disposti lungo un asse Nord-Sud, rappresenta una delle principali e più conosciute tele-conessioni intese quali strutture atmosferiche a larga scala caratterizzate da due o più distinti centri d'azioni fortemente correlati (positivamente o negativamente). In particolare la NAO, essendo associata a variazioni di intensità e di localizzazione del *Jet Stream*⁶ Nord Atlantico e a variazioni a larga scala delle normali configurazioni circolatorie responsabili del trasporto di calore e umidità sia zonale che meridionale (Hurrell, 1995), assume una notevole importanza nel condizionare la disposizione circolatoria nell'emisfero Nord influenzando conseguentemente i regimi termo-pluviometrici su vaste aree anche per periodi prolungati. Nel caso ad esempio di NAO in fase positiva (valori > 0.5) si ha un rafforzamento dell'anticiclone delle Azzorre, contemporaneamente, un approfondimento della bassa pressione semipermanente islandese. L'alto gradiente pressorio determina condizioni di spiccata zonalità, che si traduce nell'indirizzamento delle perturbazioni atlantiche verso il Nord Europa.

In condizioni di NAO positiva corrispondono solitamente inverni più umidi e miti in Europa centro-settentrionale e più secchi sull'Europa meridionale e sul Mediterraneo, compreso il Veneto. Nel caso la NAO sia negativa (valori < -0.5) si ha la situazione opposta: entrambe le figure bariche risultano indebolite, perciò sono più frequenti le azioni bloccanti in Atlantico con conseguente *split* meridiano del getto polare in area Mediterranea. La riduzione del gradiente di pressione produce una riduzione dell'attività ciclonica sull'Atlantico e uno spostamento verso Sud del percorso dei cicloni extratropicali che d'inverno attraversano l'oceano raggiungendo l'Europa. L'abbassamento di latitudine delle *storm tracks*⁷ atlantiche determina inverni più secchi nel Nord Europa, e al contrario più umidi nell' Europa meridionale e a Sud delle Alpi ove è compreso il Veneto.

Dall'analisi dell'andamento della NAO negli ultimi 50 anni si può evidenziare come: la NAO, specie nel periodo invernale mostra una significativa variabilità multi decadale⁸. In particolare nel corso degli ultimi 50 anni risulta evidente un lungo periodo tra la metà degli anni '50 e la fine degli anni '70 in cui le condizioni circolatorie sono dominate da fasi in prevalenza negative della NAO. Dall'inverno 1979/80 si registra un brusco cambiamento che determina l'avvio di una nuova fase caratterizzata da prevalenti condizioni di NAO positiva almeno fino alla metà degli anni '90. Durante questo periodo solo un paio di volte si registrano delle fasi contraddistinte da NAO negativa, durante gli inverni 1984/85 e 1985/86, mentre a partire dall'inverno 1995/96 (con NAO fortemente negativa) la predominanza di fasi positive della NAO tipica degli anni '80 e della prima metà degli anni '90 sembra iniziare ad attenuarsi mostrando negli anni seguenti delle fasi alterne (**Fig. 6**). L'analisi congiunta dell'andamento della NAO con i dati di

della depressione d'Islanda e dell'anticiclone delle Azzorre (alta pressione), determina forza e direzione del flusso zonale occidentale e la direzione delle perturbazioni lungo l'Atlantico settentrionale e verso il continente europeo.

⁶ correnti a getto: sono flussi d'aria molto veloci che si formano nella parte alta dell'atmosfera.

⁷ percorso delle perturbazioni.

⁸ Hurrell 1995, Chelliah and Bell 2005 (cfr. 9.12. Bibliografia)

precipitazione invernale in Veneto denota una significativa correlazione di segno negativo tra le due variabili confermando quindi come l'andamento del regime pluviometrico invernale sul territorio regionale sia influenzato da variazioni a più ampia scala delle configurazioni circolatorie capaci di indirizzare le perturbazioni più o meno vicine all'area Mediterranea (o più in genere dell'Europa meridionale) ove può essere ricompreso il Veneto.

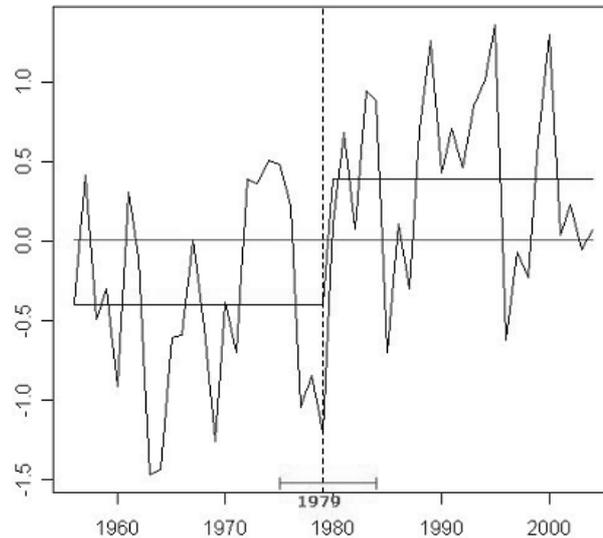


Fig. 6 - Andamento della NAO (*North Atlantic Oscillation*) invernale dal 1956 al 2004 e analisi di discontinuità: si evidenzia un primo sottoperiodo 1956-1979 contraddistinto da prevalenti condizioni di NAO negativa ed un secondo sottoperiodo 1979-2004 caratterizzato da prevalenti situazioni di NAO positiva.

4. ANALISI REGIONALIZZATA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN VENETO

Le seguenti considerazioni sono state sintetizzate dallo studio intitolato "*Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*" a cura di A. Fiume, V. Bixio (2009). Questo lavoro è stato promosso dal Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della regione Veneto, con lo scopo di caratterizzare i fenomeni di precipitazioni intense anche in termini di frequenze di accadimento.

L'analisi delle precipitazioni intense vuole stimare, per le piogge di una determinata durata, una relazione tra quantitativo di pioggia caduta e tempo di ritorno⁹; è quindi un indicatore del grado di rarità di un evento. Le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica sono un'espressione di questa stima; esse forniscono, per alcuni tempi di ritorno di riferimento (2, 5, 10, 20, 50, 100 anni), la precipitazione attesa in funzione della durata. Detta stima viene effettuata mediante regolarizzazione statistica dei dati di precipitazione disponibili, ovvero individuando la distribuzione teorica di probabilità che meglio si accorda con i valori misurati; la sua attendibilità dipende in larga misura dalla numerosità del campione di osservazioni disponibili. In genere si opera con le precipitazioni massime annuali per diverse durate temporali (minuti 5 -10 -15 -30 -45, ore 1-3-6-12-24 e giorni 1-2-3-4-5) rilevate da un pluviometro in uno specifico punto di misura. Data la variabilità spaziale del fenomeno precipitazione, la stima dei tempi di ritorno ha carattere esclusivamente locale, deve cioè considerarsi valida solo entro una ragionevole distanza dal punto di misura.

I risultati di queste analisi sono fondamentali soprattutto nel campo della progettazione delle opere fognarie ed idrauliche nonché per la pianificazione degli interventi per la riduzione del rischio idraulico. L'analisi regionalizzata delle frequenze delle precipitazioni intense è opportuna per due motivi fondamentali:

- 1) consente di disporre di informazioni maggiormente attendibili in aree distanti dai punti di misura;
- 2) consente di disporre di stime maggiormente attendibili quando le serie di osservazioni pluviometriche sono limitate nel tempo.

Questa seconda fattispecie è particolarmente rilevante per la realtà veneta, dove sono disponibili sistematiche, diffuse ed attendibili osservazioni delle precipitazioni di breve durata (minuti ed ore) solo a partire dal 1992-1993 (dati rilevati da ARPAV). Infatti il calcolo dei tempi di ritorno con soli 15-16 anni di dati rende molto incerta l'analisi soprattutto allorché si considerano durate superiori ai 20 anni, inoltre è ipotizzabile che le stime dei tempi di ritorno in stazioni vicine siano anche notevolmente diversificate per motivi legati alla casuale distribuzione spaziale degli eventi estremi più che per cause di ordine fisico o climatico.

Le metodologie di analisi regionalizzata assumono l'ipotesi che la distribuzione dei valori estremi di precipitazione entro una certa area presenti delle caratteristiche di omogeneità, da ciò consegue che è accettabile analizzare in maniera

⁹ tempo di ritorno è definito come l'intervallo temporale entro cui una certa altezza di precipitazione viene eguagliata o superata mediamente una volta.

congiunta i valori delle precipitazioni estreme rilevati presso differenti stazioni estendendo poi i risultati all'intera area di analisi.

Grazie a tale approccio il campione di dati utilizzato per il calcolo delle frequenze di accadimento degli eventi intensi passa da 15 - 20 valori ad alcune centinaia di misure, conseguentemente si ottiene un risultato affetto da minore incertezza e caratteristico di un' area climatica omogenea.

In Italia sono state utilizzate due metodologie di regionalizzazione per lo studio: sia di misure pluviometriche che di portata:

≈> la procedura Valutazione delle Piene (VAPI), utilizzata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalla Catastrofi Idrogeologiche del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), basata sull'uso della distribuzione *Two Components Extreme Value* (TCEV);

≈> una famiglia di metodi basati sul modello probabilistico *Generalized Extreme Value* (GEV), soprattutto nella forma della grandezza indice.

La Metodologia VAPI¹⁰ si basa sull'ipotesi che i massimi annuali di precipitazione derivino da due diverse popolazioni di eventi: una "ordinaria" ed una "straordinaria". Nella medesima serie di dati interagiscono eventi piovosi di intensità media ed eventi "fuori scala" meno frequenti ma che vanno a costituire una popolazione autonoma e disgiunta. La procedura VAPI opera per successivi livelli di regionalizzazione utilizzando una formula di distribuzione di probabilità a 4 parametri.

L'applicazione al Veneto di tale metodologia ha comunque richiesto utilizzo di serie storiche di dati pluviometrici di durata almeno pari a 20 -30 anni.

La metodologia della grandezza indice con distribuzione GEV è caratterizzata da notevole semplicità e robustezza ed è particolarmente efficace in presenza di serie di misure di modesta entità temporale. Pertanto proprio questa metodologia è stata utilizzata dagli Autori per individuare i gruppi omogenei di stazioni nell'area del Bacino Scolante in Laguna di Venezia e per calcolare le rispettive curve segnalatrici di possibilità pluviometrica.

L'area di studio è stata ripartita in 4 zone (Sud occidentale, Costiera lagunare, Interna nord occidentale e Nord orientale), per ciascuna di queste zone sono stati calcolati i tre parametri della curva segnalatrice.

Dall'analisi della distribuzione spaziale delle medie dei massimi annuali di precipitazione gli Autori traggono le seguenti considerazioni:

- ▶ Per le precipitazioni di breve durata (minuti ed 1 ora) la variabilità spaziale risulta modesta e probabilmente casuale.
- ▶ Per le precipitazioni da 3 a 12 ore la variabilità risulta legata alla distanza dalla costa. Dalla fascia di alta pianura (Cittadella, Trebaseleghe) i valori diminuiscono procedendo sia verso sud, sia verso est per poi aumentare di nuovo presso le stazioni costiere.

Viene infine effettuato anche il confronto tra i risultati ottenuti nello studio in parola ed i risultati contenuti nel lavoro di Villi e Bacchi (2000) mediante utilizzo della metodologia VAPI.

Ribadito che questo lavoro utilizza dati rilevati da stazioni automatiche nel periodo 1992-2007 mentre lo studio del CNR utilizza dati storici dell'ex Ufficio Idrografico di Venezia del periodo 1923-1993 rilevati da pluviometri meccanico-

¹⁰ V. Villi, B. Bacchi, 2000 (cfr. 9.26 Bibliografia).

manuali e che per le valutazioni dello studio del CNR l'area del Bacino scolante ricade in un'unica zona omogenea, si evidenzia che:

- ▶ i valori di media delle precipitazioni massime annuali dello studio del CNR sono considerevolmente più omogenei nello spazio e sensibilmente inferiori (fino al 20%) rispetto ai valori rilevati dalle stazioni dell'ARPAV.
- ▶ tali differenze sono considerevolmente amplificate dalle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica soprattutto per tempi di ritorno medio-alti (superiori a 20 anni).

Le cause di queste marcate differenze vengono ricondotte a due possibili fattori:

a) mutamenti climatici - ai cicli naturali, negli ultimi 20-30 anni è possibile si vadano a sommare gli effetti di un *trend* climatico con incremento delle precipitazioni intense. Serie di dati di adeguata estensione temporale tendono ad appiattire gli effetti delle ciclicità di medio e di lungo periodo, mentre serie brevi rischiano di collocarsi in una fase di "picco" accentuando l'effetto di *trend*. Comunque l'anno centrale delle osservazioni storiche è indicativamente il 1958 mentre l'anno baricentrico delle osservazioni ARPAV è il 2000 cioè 40 anni più tardi.

b) affidabilità strumentale - le osservazioni pluviometriche soprattutto per quanto attiene le precipitazioni di elevata intensità sono affette da errori di sottostima anche del 20-30%. Le differenze riscontrate nelle due serie di dati suggeriscono l'opportunità di un supplemento di indagine sulle prestazioni degli strumenti utilizzati nel passato e nel presente.

Caratterizzazione degli eventi pluviometrici intensi in provincia di Venezia

In questa sede si reputa importante dare conto anche dello studio effettuato nel 2004 da ARPAV-Centro Meteorologico di Teolo su commissione della Provincia di Venezia - Settore Difesa del Suolo e Protezione Civile, volto alla caratterizzazione degli eventi pluviometrici intensi in provincia di Venezia.

La caratterizzazione degli eventi pluviometrici intensi sul territorio della provincia di Venezia, ha compreso l'analisi sia delle precipitazioni massime annue che di tutti gli eventi superiori ad una determinata soglia di pioggia giornaliera per il periodo 1992-2003. L'obiettivo è stato quello di fornire una statistica di tali eventi in termini di valori, distribuzione e stagionalità, consentendo inoltre di realizzare un sistema sperimentale di allertamento basato su soglie pluviometriche e suddiviso in aree di rischio per il territorio provinciale di Venezia.

Lo studio ha preso in considerazione dapprima le precipitazioni medie e massime annue che hanno evidenziato una distribuzione spaziale delle piogge medie annue crescente verso nord, sia considerando i dati del periodo 1992-2002 che quelli storici relativi al periodo trentennale 1961-1990.

Per quanto riguarda l'analisi degli eventi pluviometrici intensi un primo studio era stato precedentemente eseguito 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 1992-2002. Attraverso l'elaborazione statistico-probabilistica di tali dati, effettuata mediante l'applicazione della legge del

valore estremo di "Gumbel"¹¹, è stato possibile calcolare i valori di precipitazione per le diverse durate e 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 ed i tempi di ritorno esaminati ovvero delle altezze di pioggia che, per le durate dai 5 minuti ai 5 giorni consecutivi, ci si attende non vengano superate, a meno di un rischio valutato attraverso il tempo di ritorno (2, 5, 10 anni). Le distribuzioni delle precipitazioni di massima intensità ottenute per i diversi tempi di ritorno analizzati, hanno evidenziato un andamento spaziale più discontinuo rispetto a quelle delle precipitazioni medie annue a seconda delle durate (brevi: da 5 minuti a 1 ora; intermedie: da 3-24h, a 1-5 giorni). L'analisi climatica eseguita, sia in riferimento alle precipitazioni medie annuali e stagionali che alle precipitazioni di massima intensità, ha permesso di distinguere tre zone considerate omogenee dal punto di vista pluviometrico: (Fig. 7) la zona meridionale (zona 1), comprendente i comuni di Cona, Cavarzere, Chioggia, la zona centrale (zona 2), comprendente i comuni della Riviera del Brenta, del miranese e del veneziano, la zona nord-orientale (zona 3), comprendente i comuni del sandonatese e portogruarese.

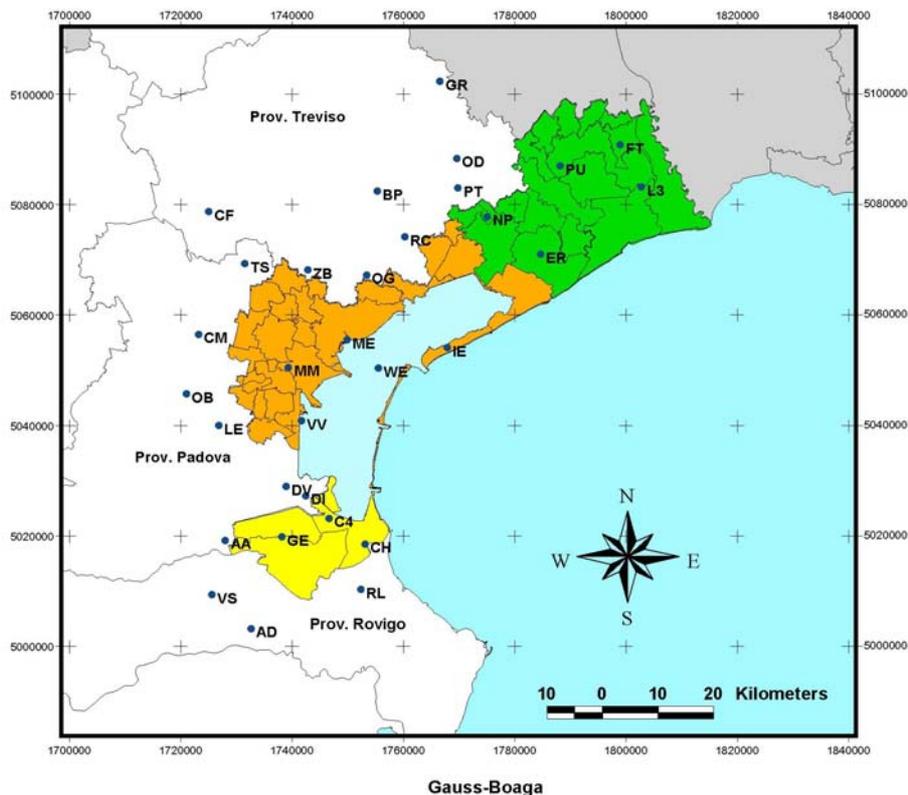


Fig. 7 - Zone pluviometriche omogenee della Provincia di Venezia

¹¹ V.T. Chow, 1964: "Statistical and probability analysis of hydrological data". Handbook of applied Hydrology, Mc Graw-Hill, New York

Per comprendere inoltre la distribuzione nel corso dell'anno dei massimi di precipitazione per alcune durate significative (15 minuti, 1 ora, 6 ore, 24 ore, 3 giorni e 5 giorni), sono state individuate le date in cui si sono registrati gli eventi, calcolando successivamente, per ognuna delle tre zone individuate, le frequenze mensili di accadimento relative al periodo di studio 1992-2003.

In conclusione per quanto riguarda le piogge massime di breve durata si è osservato che per tutte le zone tali eventi si sono concentrati prevalentemente nei mesi tra aprile e novembre con frequenze massime nel mese di luglio nella zona 1 e 2 e nel mese di settembre nella zona 3.

Mentre per la zona 1 le frequenze di accadimento di tali piogge sono risultate nettamente concentrate intorno al mese di luglio, per le altre due zone si è notato come le distribuzioni siano più appiattite, con frequenze massime mensili più simili tra loro e concentrate prevalentemente tra giugno e agosto per la zona 2 e tra giugno e settembre per la zona 3.

Inoltre si è osservato come all'aumentare della durata di pioggia le distribuzioni nel corso dell'anno tendano a spostarsi ai mesi autunnali fino a raggiungere, per le durate di 3 e 5 giorni consecutivi, i valori più alti nel mese di ottobre per tutte le zone.

In seguito, allo scopo di ampliare i casi di studio e di approfondire l'analisi degli eventi pluviometrici intensi, si sono presi in considerazione, oltre alle precipitazioni massime annuali, anche tutti gli eventi che hanno superato una soglia di 30 mm giornalieri in almeno due stazioni appartenenti alla stessa zona. Tale soglia è stata scelta in base a due criteri:

1. tenendo conto delle classi di precipitazione  attualmente indicate nei messaggi di allerta emessi dal Servizio Meteorologico dell'ARPAV, che individuano come classe di precipitazione abbondante un valore compreso tra 30-70 mm/24 ore;

2. considerando che con una soglia di 30 mm vengono compresi, secondo l'analisi climatica effettuata, anche gli eventi di breve durata che rappresentano, per la durata di 1 ora, eventi con tempi di ritorno medi sul territorio, molto prossimi ai 2 anni.

Al fine di individuare inoltre livelli diversi di intensità degli eventi, è stata introdotta una classificazione dei valori di pioggia giornaliera secondo 5 classi (**Tab. 3**)

Tab. 3: Classi pluviometriche per individuare l'importanza delle precipitazioni giornaliere.

classe	mm/g
1	$> 30 \leq 40$
2	$> 40 \leq 50$
3	$> 50 \leq 60$
4	$> 60 \leq 70$
5	> 70

Il numero complessivo degli eventi individuati nel corso del decennio 1992-2003 è stato pari a 161 con una distribuzione per classi di precipitazione giornaliera,

valida per tutto il territorio, che mostra una distribuzione con un andamento ovviamente decrescente all'aumentare dei valori di pioggia giornaliera.

Per dare ulteriore significato di tipo statistico-probabilistico, per ogni evento individuato sono stati successivamente stimati i valori dei **tempi di ritorno per tutte le durate di pioggia** registrata per ognuna delle stazioni considerate. In tal modo si è potuto caratterizzare più approfonditamente la tipologia degli eventi pluviometrici intensi in provincia di Venezia, in termini di durata, intensità e stagionalità.

Successivamente per tutti gli eventi individuati sono stati calcolati i **tempi di ritorno relativi alle piogge intense** (per tutte le durate da 5 minuti a 5 giorni) registrate per ognuna delle stazioni considerate. In questo modo si è potuto elencare e classificare gli eventi in ordine alla loro criticità in termini di probabilità di accadimento (tempi di ritorno), di durata e di diffusione dell'evento sul territorio.

La caratterizzazione effettuata ha permesso successivamente, nell'ambito di uno studio commissionato nel 2005 sempre dalla Provincia di Venezia - Settore Difesa del Suolo e Protezione Civile, l'individuazione di possibili soglie pluviometriche di allertamento specifiche per il territorio provinciale sulla base delle analisi incrociate tra dati pluviometrici ed effetti al suolo riscontrati.

5. RISULTATI E VALUTAZIONI

5.1. Analisi preliminari dei dati relativi agli eventi estremi di precipitazione sul Veneto

Le precipitazioni di elevata intensità nel Veneto del periodo 1992-2009

Sono state considerate le serie di dati delle 116 stazioni pluviometriche automatiche dell'ARPAV operative sul territorio della regione Veneto per le quali è disponibile la registrazione completa nel periodo 1992-2009 dei massimi valori annuali di precipitazione misurati per le durate di:

minuti	5, 10, 15, 30, 45
ore	1, 3, 6, 12, 24
giorni	1, 2, 3, 4, 5

Per ciascuna di queste stazioni e per ciascuna durata temporale, è stato individuato il massimo valore assoluto di intensità di precipitazione del periodo 1992-2009, estraendo contestualmente la data e l'ora di accadimento dell'evento¹².

Di seguito vengono riportate alcune sintetiche considerazioni relative alla distribuzione spazio-temporale di tali eventi.

Piogge intense massime assolute della durata da 5 minuti ad 1 ora

I massimi apporti assoluti sono stati determinati prevalentemente da eventi temporaleschi innescati da situazioni di forte riscaldamento al suolo, forti fenomeni convettivi o comunque in presenza di forti contrasti termici. Infatti tali massimi assoluti si sono verificati prevalentemente nei mesi estivi (nell'ordine in agosto, luglio e giugno) e nelle ore più calde della giornata. L'analisi, mediante metodi statistici non-parametrici, della distribuzione del numero di eventi massimi assoluti per anno presenta un segnale di tendenza significativa all'incremento nel periodo dal 1992 al 2009.

La distribuzione spaziale degli eventi, pur evidenziando alcune aree meno attive (bellunese centro-settentrionale, provincia di Verona, parte meridionale del Polesine) ed altre più reattive (costa centrale e meridionale, Colli Berici, feltrino), risente probabilmente anche di una componente di casualità: trattandosi di fenomeni localizzati nello spazio e nel tempo la casualità consiste nel fatto che il nucleo di una cella temporalesca nel momento della sua massima attività, passi esattamente sopra lo strumento di misura (**Fig. 8**).

¹² Le rappresentazioni cartografiche e tabellari sono riportate nell'apposito Allegato [n. 1] dello studio citato – consultabile presso l'UCSDB - a cui si rimanda per un'esauritiva rappresentazione dei fenomeni.

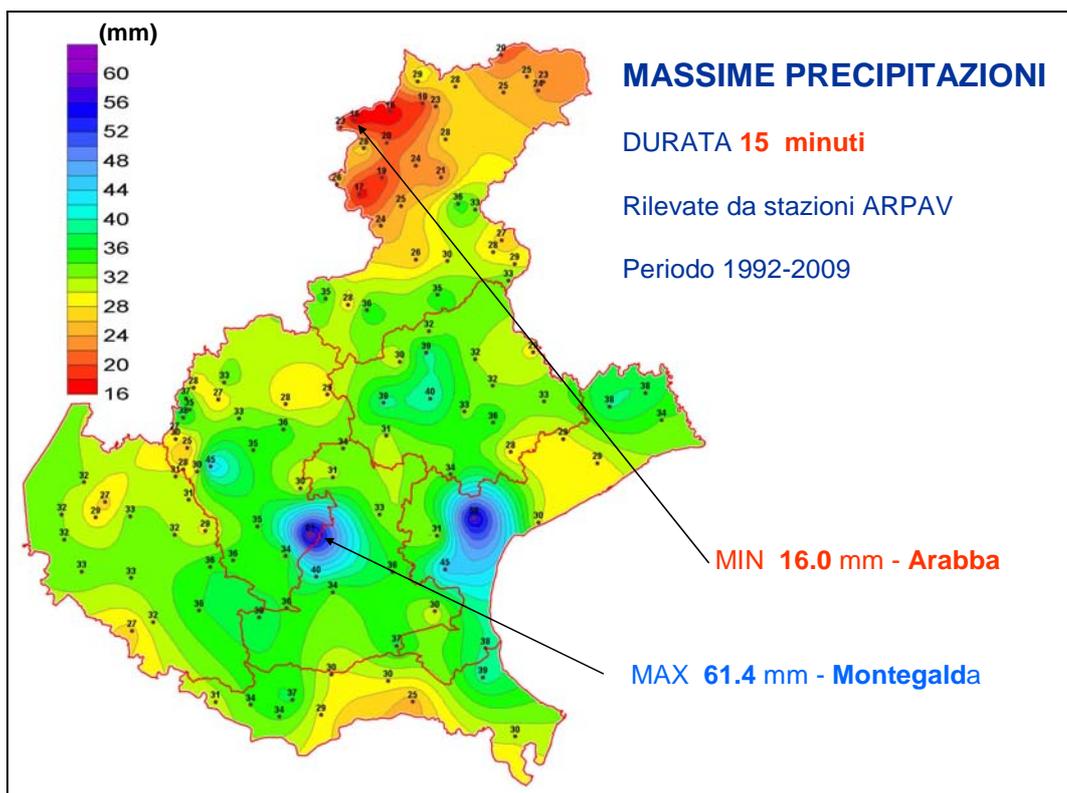


Fig. 8 - Distribuzione sul territorio regionale dei massimi apporti assoluti caduti in 15 minuti nel periodo 1992-2009.

Piogge intense massime assolute della durata da 3 ore a 24 ore

I massimi assoluti si sono verificati prevalentemente nel mese di settembre; periodo di forti contrasti termici accentuati dal fatto che la temperatura del mare è spesso superiore alla temperatura dell'entroterra.

Parte degli eventi più severi per queste durate temporali sono collegabili a fenomeni di convergenza nei bassi strati stazionari per un certo numero di ore su di una zona o di rigenerazione di celle temporalesche in una medesima area e conseguentemente la localizzazione di tali massimi è almeno parzialmente influenzata da fattori geografici.

Parte di tali massimi, soprattutto per le durate di 12 - 24 ore, sono riconducibili invece a perturbazioni severe che hanno interessato diffusamente la regione (si osservi che gran parte dei massimi assoluti, per la durata di 12 ore, della zona montana, si sono verificati nel corso dell'evento del 20.09.1999). L'analisi, mediante metodi statistici non-parametrici, della distribuzione del numero di eventi massimi assoluti per anno non manifesta *trend* significativi (Fig. 9).

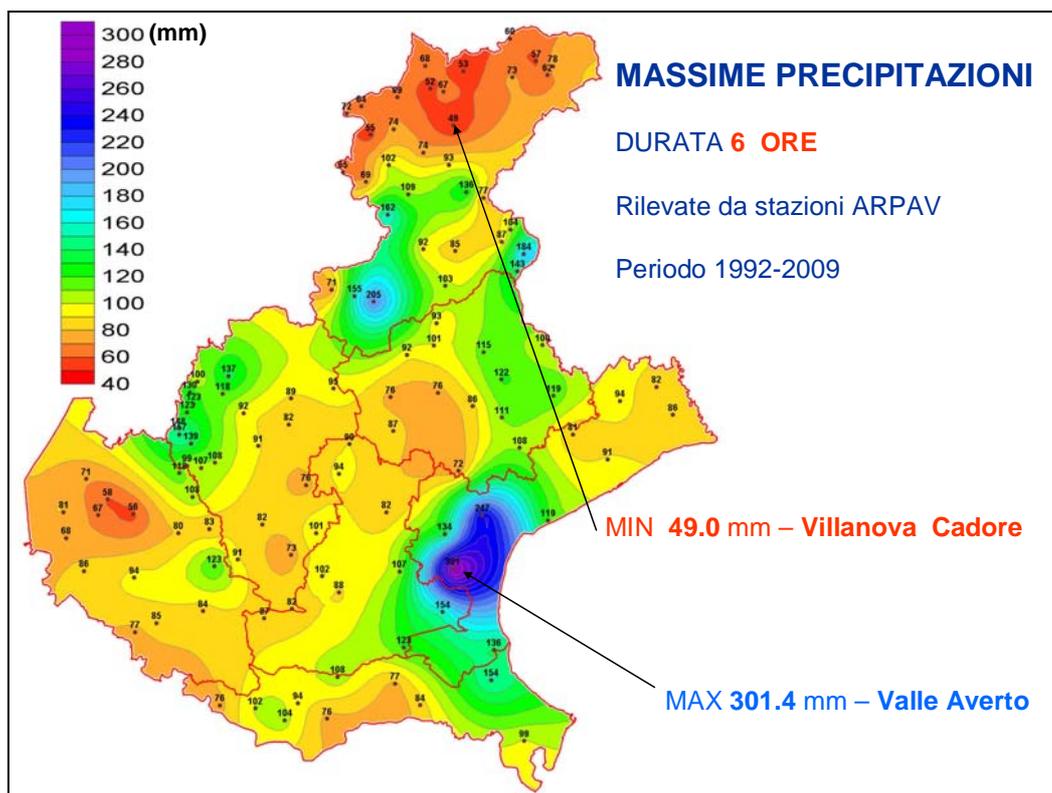


Fig. 9 - Distribuzione sul territorio regionale dei massimi apporti assoluti di precipitazione caduta nelle 6 ore nel periodo 1992-2009.

Piogge intense massime assolute della durata da 2 a 5 giorni consecutivi

I massimi apporti assoluti sono stati determinati da sistemi perturbati ben organizzati che hanno investito il territorio Veneto in modo diffuso nel periodo autunnale; principalmente nel mese di ottobre secondariamente in settembre o novembre.

I valori massimi assoluti sono generalmente riconducibili ad alcuni specifici eventi "severi" che si collocano principalmente nel 1992 (evento dal 2 al 7 ottobre 1992), nel 2002, nel 2006 e nel 2005, limitatamente alle durate di 5 giorni.

L'analisi, mediante metodi statistici non-parametrici, delle distribuzioni del numero di eventi massimi assoluti per anno non manifesta trend significativi.

La localizzazione delle massime precipitazioni assolute è influenzata dalla distribuzione tipica delle precipitazioni diffuse con:

- ▶ massimi apporti sulle alte valli dell'Agno, Posina e Leogra,
- ▶ massimi relativi sull'intera area prealpina (resi poco evidenti dalla carenza di punti di misura in tale zona).

Si osservino (Fig. 10) gli elevati valori di massima precipitazione rilevati nel feltrino e gli ancora più rilevanti apporti rilevati sul medio e basso agordino ed a Soffranco (longaronese).

Tale situazione consente di ipotizzare che, sistemi perturbati associati a flussi meridionali particolarmente intensi, possano, in alcuni casi, determinare apporti più consistenti sull'area dolomitica centro meridionale, anziché sulle Prealpi.

Sull'area costiera, invece, alcuni dei valori massimi assoluti sono dovuti ad eventi convettivi della durata di 6-12 ore di entità tale da superare gli apporti delle precipitazioni di durata plurigiornaliera.

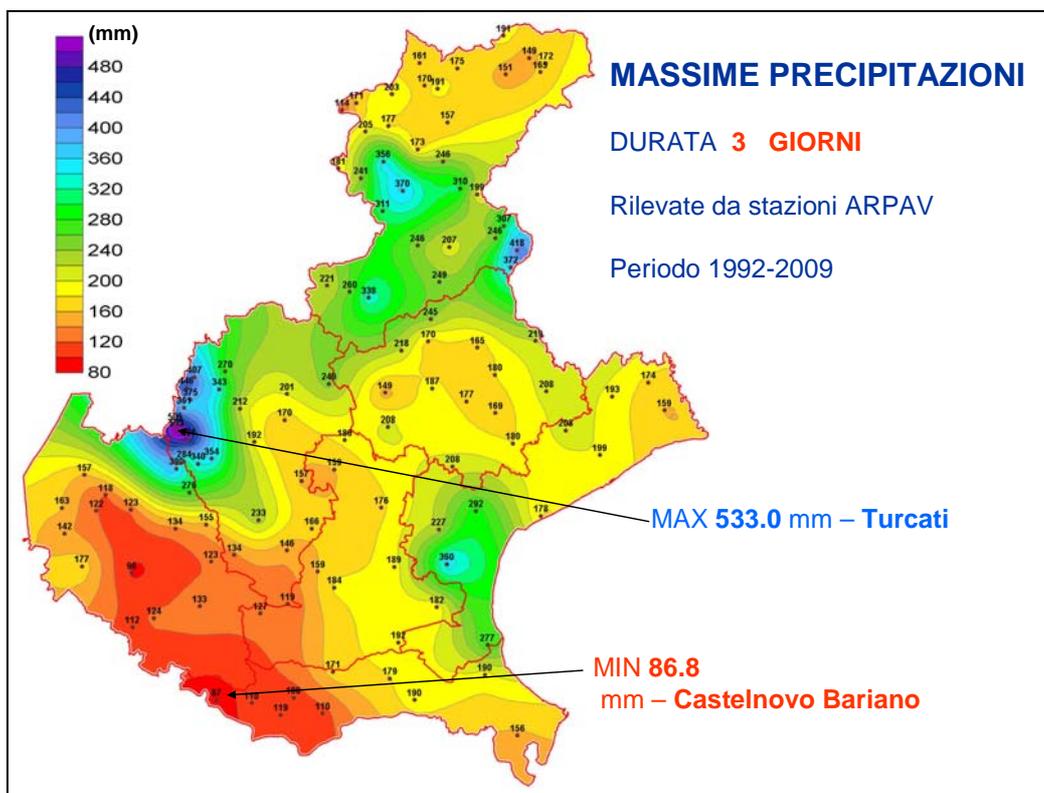


Fig. 10 - Distribuzione sul territorio regionale dei massimi apporti assoluti di precipitazione caduta in tre giorni nel periodo 1992-2009

Piogge di massima intensità del periodo 1924-1996

Un lavoro analogo è stato effettuato considerando i valori disponibili delle **massime precipitazioni annuali** per le durate di:

ore	1, 3, 6, 12, 24
giorni	1, 2, 3, 4, 5

rilevate nel periodo 1924-1996 dalle stazioni pluviometriche dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia (ex SIMN; Ente attualmente trasferito all'ARPAV).

Per il lavoro si sono utilizzati i dati digitalizzati dal CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI)– Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nei bacini dell'Italia Nordorientale per la realizzazione dello studio: V. Villi, B. Bacchi, 2001. Valutazione delle piene nel Triveneto, CNR - GNDCI Pubblicazione n. 2511.

Per ciascuna di queste serie storiche e per ciascuna durata temporale, è stato individuato il massimo valore assoluto di intensità di precipitazione del periodo 1924-1996, estraendo contestualmente la data di accadimento dell'evento.

Le serie pluviometriche considerate, purtroppo, non risultavano né complete, né riferibili allo stesso periodo temporale; tale considerazione è particolarmente valida per le serie relative alle precipitazioni di breve durata.

Per tale motivo su tali valori non si è ritenuto opportuno effettuare un'analisi di *trend* della distribuzione del numero di eventi per anno ¹³.

Di seguito vengono riportate alcune sintetiche considerazioni relative alla distribuzione spazio-temporale di tali eventi.

Piogge intense massime assolute storiche della durata da 1 ora a 24 ore

Tali osservazioni discontinue negli anni e non sistematiche risultano, probabilmente, meno affidabili. Complessivamente i massimi apporti ricavati da queste serie risultano inferiori agli analoghi valori rilevati nel periodo 1992-2009.

Sono evidenziati però, sostanzialmente, i medesimi "punti sensibili" quali: la costa, l'Alpago, la zona Monte Grappa – Seren del Grappa, l'area prealpina, le valli dell'Agno-Posina, il medio agordino e longaronese.

Segnali importanti di eventi severi si trovano inoltre sulla costa settentrionale (es. stazione di Termine (VE) rileva 269 mm in 6 ore il 17.10.1990) nonché sullo zoldano e centro Cadore.

Risultano particolarmente evidenti, inoltre, le elevate intensità registrate nell'area Legnaro, Piove di Sacco, S. Margherita di Codevigo in data 04.09 1967.

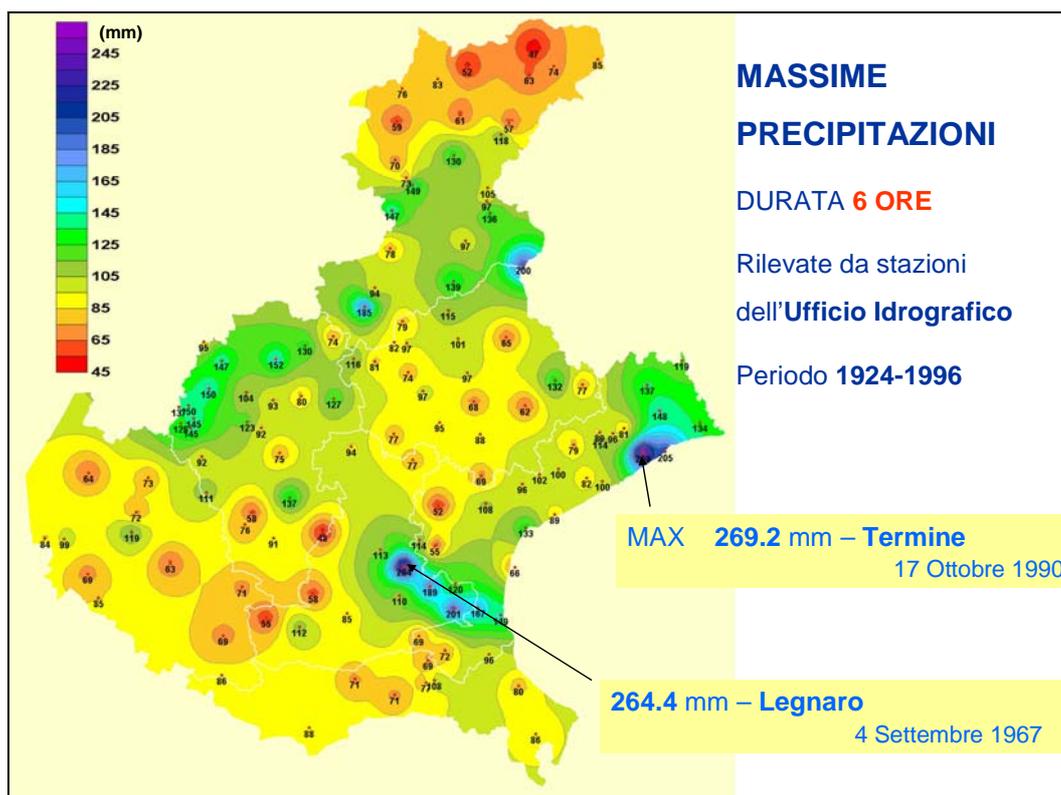


Fig. 11 - Distribuzione sul territorio regionale dei massimi apporti assoluti di precipitazione caduta nelle 6 ore nel periodo 1924-1996.

¹³ Le rappresentazioni cartografiche e tabellari sono riportate nell'Allegato [n. 2] dello studio citato – consultabile presso l'UCSDB - a cui si rimanda per un'esauriva rappresentazione dei fenomeni.

Piogge intense massime assolute storiche della durata da 1 a 5 giorni.

In questo caso risultano predominati gli effetti di alcuni eventi "alluvionali" associati ovviamente a severe precipitazioni, in particolare risultano ben evidenti le elevate intensità delle piogge del novembre 1966, dell'ottobre 1992 e del settembre 1960.

In generale, soprattutto sull'area prealpina e sulle Dolomiti centro-meridionali, risultano registrati valori mediamente superiori rispetto a quelli rilevati nel periodo 1992-2009 dalle stazioni automatiche.

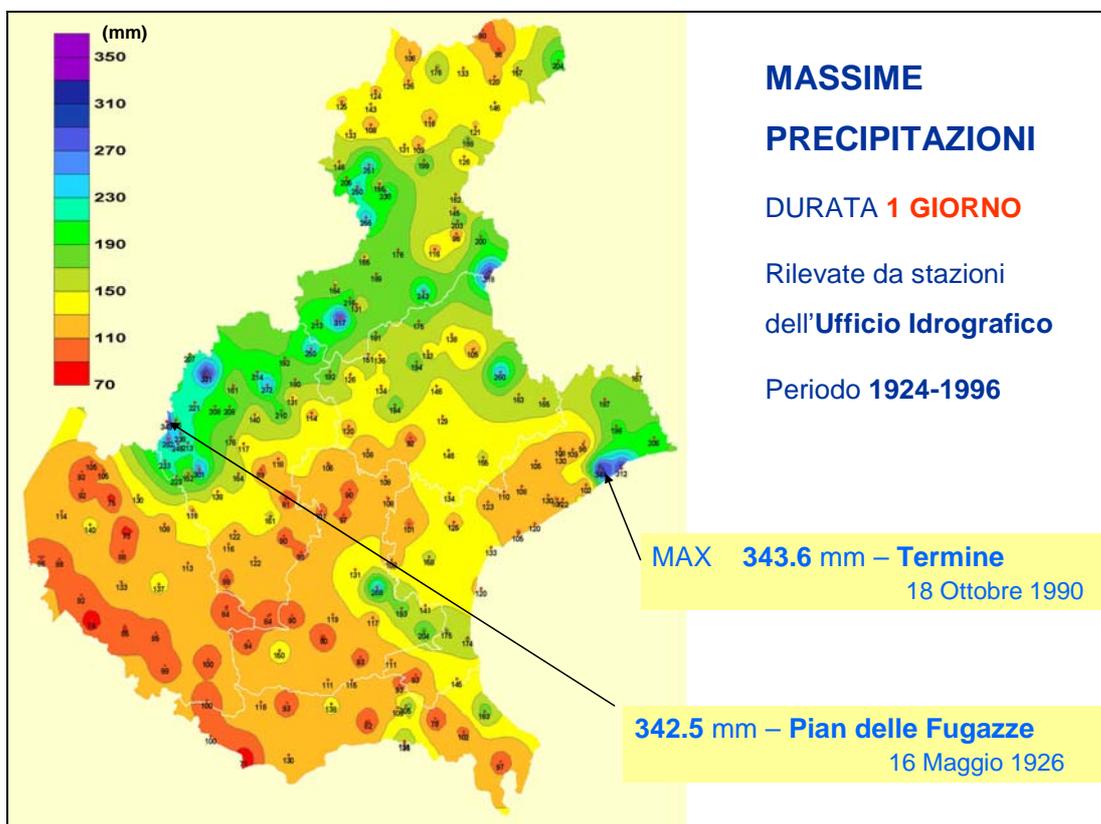


Fig. 12 - Distribuzione sul territorio regionale dei massimi apporti assoluti di precipitazione caduti in un giorno nel periodo 1924-1996.

5.2 Trend delle precipitazioni di elevata intensità e breve durata nel periodo 1992-2009

Scopo del lavoro

Le precipitazioni di elevata intensità e di breve durata sono le piogge che si verificano durante gli eventi temporaleschi e che, in varie occasioni, hanno prodotto allagamenti in aree urbane, determinato frane o hanno messo in crisi piccoli bacini idrologici.

Studiando la loro distribuzione negli ultimi 18 anni si è cercato di rispondere alla domanda se negli ultimi anni ci sia stato un aumento dell'intensità di tali fenomeni o un aumento del numero di eventi intensi per anno.

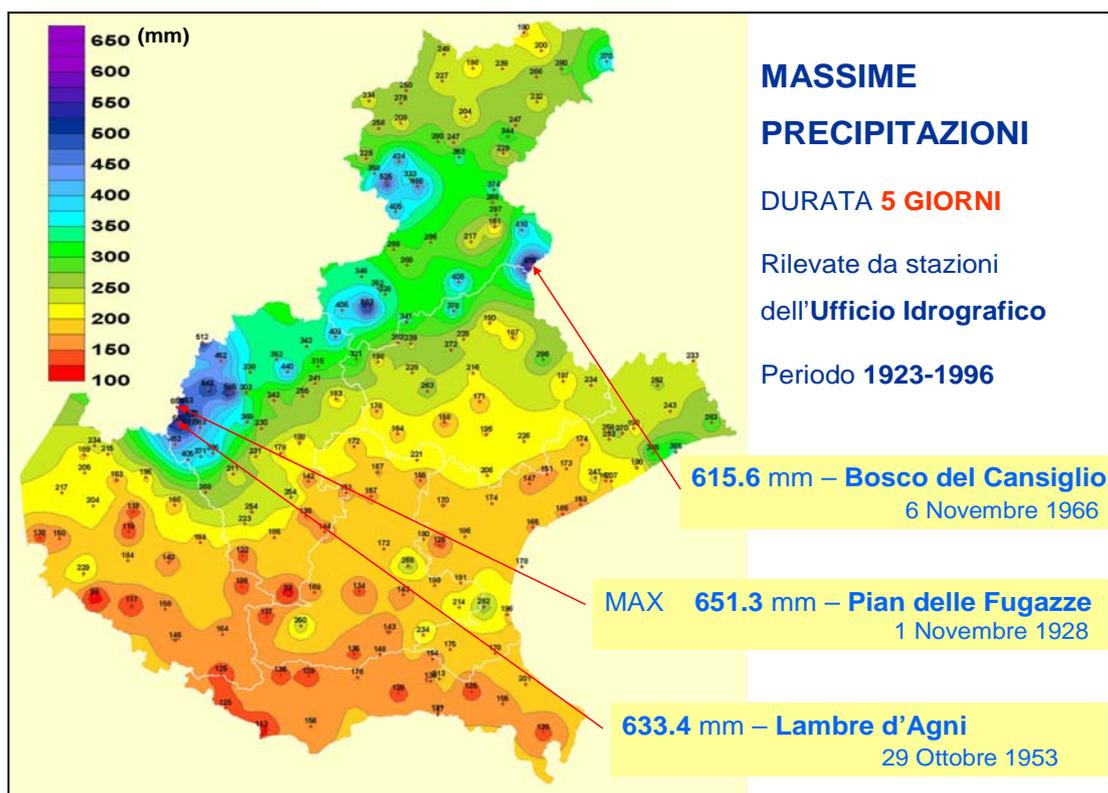


Fig. 13 - Distribuzione sul territorio regionale dei massimi apporti assoluti di precipitazione caduti in 5 giorni nel periodo 1924 -1996.

I dati utilizzati

La rete di stazioni meteorologiche automatiche dell'ARPAV garantisce il monitoraggio delle principali variabili meteorologiche sull'intero territorio regionale a partire dai primi mesi dell'anno 1992.

L'utilizzo di sensori elettronici ha consentito di effettuare la misura delle variabili meteorologiche in continuo e con un'elevata scansione temporale. Per la variabile precipitazione, in particolare viene rilevato ed archiviato un dato ogni 5 minuti, con risoluzione di 0.2 mm; tale dato è la somma della pioggia, o dell'equivalente in acqua delle precipitazioni solide, caduta nel corso dei precedenti 5 minuti.

L'aggregazione dei dati elementari consente, in modo agevole e sistematico, l'analisi dettagliata dell'intensità di precipitazione per varie durate temporali (multiple di 5 minuti) per ogni singolo evento piovoso.

Utilizzando una procedura appositamente sviluppata per l'elaborazione dati dal data base **SIRAV** (Sistema Informativo Regionale Ambientale del Veneto) si è provveduto ad estrarre, per 15 stazioni meteorologiche, **le 10 massime precipitazioni annuali** rispettivamente per le durate di **10-30 minuti** e **1-3-6-12 ore**. Tale estrazione è stata effettuata per tutti i 18 anni del periodo 1992-2009, predisponendo quindi, per ogni durata temporale, un set di 180 dati di precipitazioni di elevata intensità.

L'analisi è stata focalizzata sulle precipitazioni "temporalesche" di breve durata ovvero sugli eventi in grado di mettere in crisi sistemi di sgrondo delle acque urbane, comprensori di bonifica e piccoli bacini.

Successivamente (**Fig.14**) per ciascuna durata di precipitazione, per ciascuno dei 18 anni di osservazione, si sono predisposte 10 serie di dati costituite da:

- 1) valori annuali massimi assoluti (1° ordine o *rank* nella figura);
- 2) somma dei valori di 1° ordine e 2° ordine;
- 3) somma dei valori di 1° ordine, 2° ordine e 3° ordine;
- 4) ecc., ecc.;
- 5)
- 10) somma dei valori dal 1° ordine, al 10° ordine;

Criteria di calcolo per l'analisi di trend

Premesso che:

- il limitato numero di anni di osservazione disponibili (18) rende molto problematica ed aleatoria qualsiasi analisi di *trend* climatico (sarebbero infatti necessari almeno 30 anni di osservazioni);
- il tipo di dati oggetto d'indagine, ovvero valori estremi di precipitazione, soggetti a fluttuazioni tutt'altro che lineari, rende l'analisi assai più complessa rispetto allo studio, per esempio, delle temperature medie annuali o stagionali;

nel considerare i risultati di questo lavoro è indispensabile avere ben presenti i limiti dell'analisi di *trend*.

La distribuzione degli eventi estremi è tipicamente non Gaussiana o non normale, per tale motivo l'analisi di queste misure deve essere effettuata facendo ricorso alla statistica non parametrica.

Quindi, per valutare l'eventuale presenza di *trend* continuo crescente o decrescente delle piogge intense si è utilizzato il *test* non parametrico di Mann Kendall (**Z**) valutando inoltre contestualmente la significatività del risultato del *test*¹⁴.

Poiché tale *test* non fornisce ulteriori informazioni quantitative circa l'entità del *trend* è stato necessario procedere contestualmente al calcolo dei parametri (coefficiente angolare Q ed intercetta B) della retta di *trend* avvalendosi del metodo di Sen (o Theil o Sen-Theil)¹⁵.

Un esempio di calcolo

Nella tabella commentata riportata (**Fig. 14**) viene fornito un esempio dei risultati dell'analisi di *trend* condotta sulle piogge di **massima intensità annuale** (1° ordine) della stazione di Cavallino Treporti (VE) considerando il periodo 1992-2009.

Per ciascuna serie temporale (durate di **10-30 minuti** e **1-3-6-12 ore**) sono stati analizzati i 18 valori massimi annuali associati all'anno di accadimento.

I valori **Z** (statistica del *test* di Mann-Kendall) risultano tutti positivi indice del fatto che esiste un *trend* crescente per tutte le serie considerate. Però solo le massime

¹⁴ La significatività risponde al quesito: "che probabilità c'è che esista un trend per il solo effetto della distribuzione casuale dei valori?".

¹⁵ Questa metodologia di analisi le cui basi teoriche sono descritte da Gilbert (Gilbert,1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York) è stata utilizzata per la redazione della tesi di laurea dello studente Filippo Perin, anno accademico 2009/2010. *Indagine sull'ipotesi di estremizzazione delle piogge intense nella Regione Veneto* - Tesi di laurea Università degli studi di Padova. Facoltà di Agraria. Relatore Prof. Vincenzo d'Agostino

precipitazioni annuali della durata di **1 - 3 - 12 ore** hanno significatività $\alpha \leq 0.05$ (ovvero c'è meno del 5% di probabilità che tale *trend* derivi da una combinazione casuale dei valori). La serie di 6 ore presenta significatività inferiore $\alpha \leq 0.10$ (ovvero c'è meno del 10% di probabilità che tale *trend* derivi da una combinazione casuale dei valori).

Il *trend* delle precipitazioni di durata **10 e 30 minuti**, pur crescente non è significativo per cui si deve comunque ritenere valida l'ipotesi che non esista un *trend* significativo.

Appurata la significatività del *trend*, il metodo di Sen ci consente di calcolarne l'entità; tale informazione è riportata nella colonna **Q** dove è espresso il coefficiente angolare, calcolato con metodo non parametrico, della retta di *trend*.

Q = 3.171 relativo alle precipitazioni di massima intensità della durata di 12 ore ci dice che tra il 1992 ed il 2009, sulla stazione di Cavallino, questa tipologia di eventi ha registrato un **incremento medio di 3,17 mm all'anno**. Infine viene stimata anche **B** che è l'intercetta non parametrica della retta di *trend*.

In **Fig. 15** viene analizzata in dettaglio una delle casistiche sopra riportate ed in particolare viene rappresentata la serie delle precipitazioni di massima intensità della durata di 12 ore. Dal grafico in **Fig. 15** si evince che, per la stazione di Cavallino, esiste un *trend* ed è significativo (meno del 5% di probabilità che esso sia casuale).

Però è abbastanza evidente anche che la retta di *trend* rappresenta il fenomeno in modo abbastanza approssimativo. Infatti la spezzata dell'analisi dei residui (differenza tra il valore misurato e il valore stimato dalla linea di *trend*) individua ampie oscillazioni (oltre ± 25 mm) per una serie di valori la cui media è di 76.5 mm. Inoltre nei primi anni '90 si erano verificate massime precipitazioni di entità simile a quelle verificatesi tra il 2003 ed il 2006.

Si rileva comunque che la massima precipitazione della durata di 12 ore, in questa stazione, viene rilevata il 16.09.2009, allorquando vengono totalizzati 129 mm che rappresentano il 15% della precipitazione media annua del periodo di riferimento (845 mm) Inoltre i tre massimi eventi della serie si collocano negli ultimi tre anni (2007-2009).

Le medesime analisi sono state effettuate anche per le serie di dati di ordine successivo; ovvero procedendo dalle somme delle due maggiori precipitazioni annuali (2° ordine) fino alle somme delle dieci maggiori precipitazioni annuali (10° ordine) per ciascuna delle durate temporali considerate.

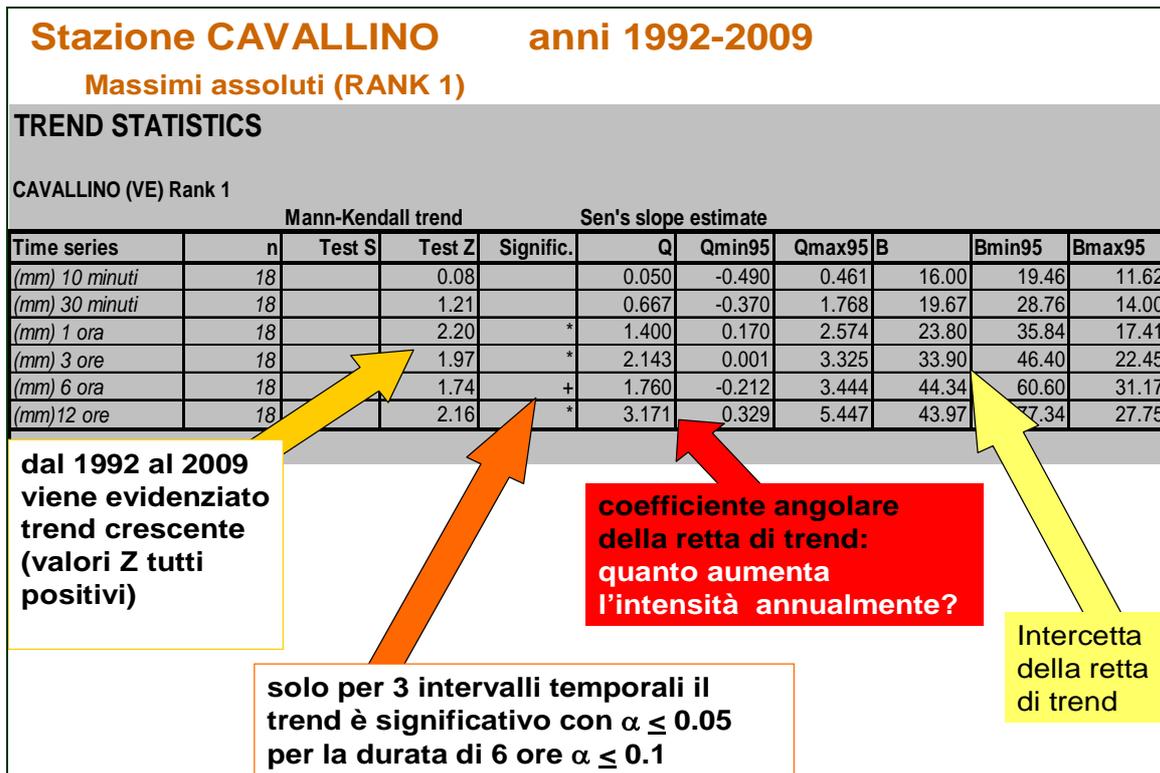


Fig. 14 - Esempio di analisi di *trend* per 6 serie di precipitazione di 1° ordine della stazione di Cavallino Tre Porti (VE)

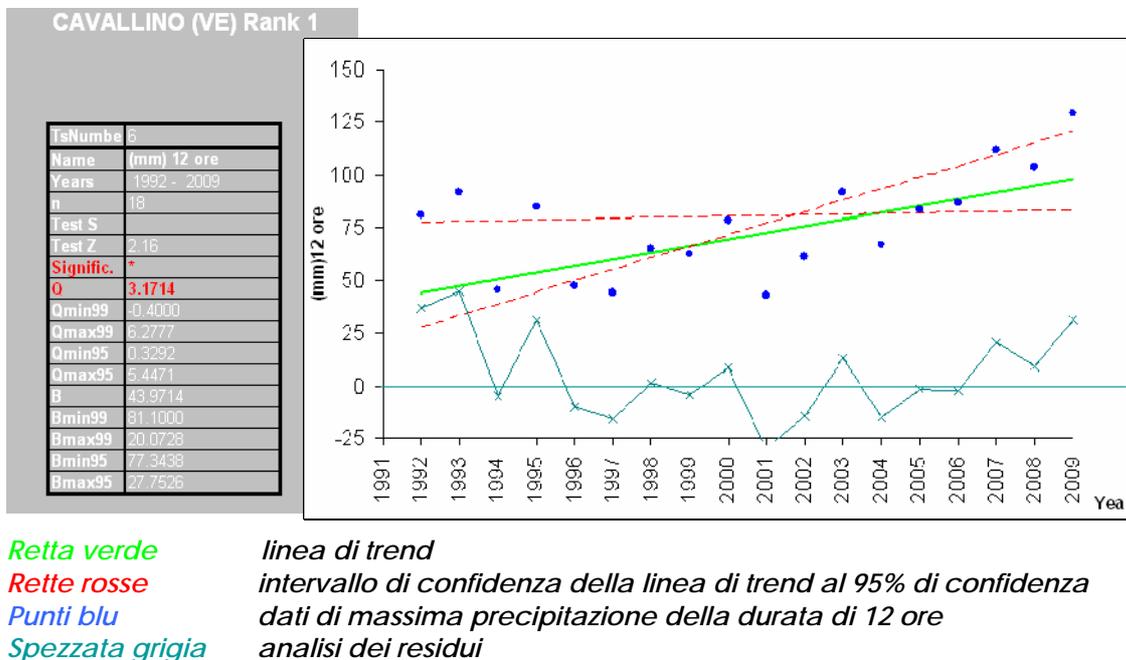


Fig. 15 - Grafico dell'analisi di *trend* per la stazione di Cavallino (VE) precipitazioni massime annuali della durata di 12 ore di 1° ordine periodo 1992-2009.

Un esempio dei risultati finali, sempre riferito alla stazione meteorologica di Cavallino (VE), viene riportato in **Fig. 16** per le piogge di 2°, 3°, 4°, 5° e 10° ordine. Dall'analisi di tale tabella si evince che:

► gli eventi di **2° ordine** manifestano ***trend crescenti*** per precipitazioni intense della durata di:

1 - 3 - 6 - 12 ore significatività $\alpha \leq 0.05$

Q = 1.9 - 2.9 - 2.9 - 3.8 (mm/anno)

► gli eventi **dal 3° al 5° ordine** manifestano ***trend crescenti*** per precipitazioni intense della durata di:

3 - 6 ore significatività $\alpha \leq 0.05$

12 ore significatività $\alpha \leq 0.01$

► Le ulteriori **somme** degli eventi che comprendono **dal 6° al 10° ordine** manifestano ***trend crescenti*** per precipitazioni intense della durata di:

3 ore significatività $\alpha \leq 0.1$

6 ore significatività $\alpha \leq 0.05$

12 ore significatività $\alpha \leq 0.01$

► Quindi in questa stazione nel periodo 1992-2009 si riscontrano ***trend crescenti*** sia per le massime precipitazioni annuali che per le somme progressive delle massime precipitazioni fino al 10° ordine. Tali ***trend*** risultano sempre significativi per le durate di 12, 6 e 3 ore.

CAVALLINO (VE) Σ 2 rank										
Mann-Kendall trend				Sen's slope estimate						
Time series	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin95	Qmax95	B	Bmin95	Bmax95
(mm) 10 minuti	18		0.00		0.000	-0.800	0.631	28.80	33.60	22.50
(mm) 30 minuti	18		0.98		0.986	-0.975	2.523	39.52	55.31	29.22
(mm) 1 ora	18		1.97	*	1.933	0.096	3.675	45.60	59.08	35.82
(mm) 3 ore	18		2.20	*	2.933	0.410	4.837	56.23	76.13	45.54
(mm) 6 ore	18		2.05	*	2.867	0.092	5.553	77.23	103.88	57.58
(mm) 12 ore	18		2.54	*	3.835	0.382	6.835	89.61	120.38	65.36
CAVALLINO (VE) Σ 3 rank										
Mann-Kendall trend				Sen's slope estimate						
Time series	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin95	Qmax95	B	Bmin95	Bmax95
(mm) 10 minuti	18		0.08		0.029	-0.975	0.876	38.19	45.65	30.51
(mm) 30 minuti	18		0.91		1.067	-1.295	2.845	56.87	73.43	44.89
(mm) 1 ora	18		1.63		2.164	-0.401	3.981	65.11	81.01	51.50
(mm) 3 ore	18		2.27	*	3.106	0.575	6.020	79.15	102.82	66.81
(mm) 6 ore	18		2.27	*	4.057	0.889	7.146	105.20	136.37	78.53
(mm) 12 ore	18		2.73	**	5.014	1.456	9.215	122.13	153.53	79.90
CAVALLINO (VE) Σ 4 rank										
				Sen's slope estimate						
Time series	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin95	Qmax95	B	Bmin95	Bmax95
(mm) 10 minuti	18		0.19		0.109	-0.902	1.295	45.38	51.82	35.31
(mm) 30 minuti	18		1.02		0.883	-1.275	3.144	69.80	83.67	52.99
(mm) 1 ora	18		1.36		2.300	-0.809	4.624	83.25	100.36	60.84
(mm) 3 ore	18		2.01	*	3.627	0.129	7.279	100.38	126.55	77.23
(mm) 6 ore	18		2.50	*	4.625	1.669	8.682	130.96	159.55	90.49
(mm) 12 ore	18		2.77	**	5.757	2.550	9.248	152.46	180.65	120.24
CAVALLINO (VE) Σ 5 rank										
Mann-Kendall trend				Sen's slope estimate						
Time series	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin95	Qmax95	B	Bmin95	Bmax95
10 minuti	18		0.42		0.400	-0.937	1.668	51.70	58.66	41.08
30 minuti	18		1.14		1.111	-1.543	3.660	80.26	96.92	60.77
1 ora	18		1.36		2.491	-1.084	5.570	98.52	118.09	66.94
3 ore	18		2.05	*	4.082	0.312	7.837	118.06	145.74	94.70
(mm) 6 ore	18		2.31	*	5.750	1.590	9.349	147.38	183.07	112.19
12 ore	18		2.88	**	6.186	2.057	10.963	182.16	210.00	135.05
CAVALLINO (VE) Σ 10 rank										
Mann-Kendall trend				Sen's slope estimate						
Time series	n	Test S	Test Z	Signific.	Q	Qmin95	Qmax95	B	Bmin95	Bmax95
(mm) 10 minuti	18		0.68		0.840	-1.267	2.919	76.82	89.27	56.51
(mm) 30 minuti	18		1.06		2.500	-1.507	5.887	118.65	144.43	91.96
(mm) 1 ora	18		1.52		3.567	-1.127	7.844	154.42	176.48	103.53
(mm) 3 ore	18		1.82	+	4.600	-0.383	10.464	199.20	223.66	155.62
(mm) 6 ore	18		2.20	*	6.183	1.198	12.317	247.11	279.51	199.86
(mm) 12 ore	18		2.80	**	8.345	2.635	13.586	281.02	318.95	249.93

Fig. 16 - Quadro riepilogativo dell'analisi di *trend* per la stazione di Cavallino Tre Porti (VE)

Sintesi dei risultati del lavoro

Nell'analisi effettuata dal Servizio Meteorologico dell'ARPAV si è considerato un limitato campione di 16 stazioni pluviometriche per le quali sono stati estratti anno per anno, dal 1992 al 2009, i primi 10 valori di massima precipitazione delle durate di 10 e 30 minuti 1,3,6,12, ore.

Si è operata un'analisi di *trend* utilizzando il test statistico non parametrico di Mann-Kendall (per valutarne la tendenza e la significatività) combinato al *test* di Sen (per individuare il coefficiente angolare e l'intercetta delle rette di *trend*).

Detta analisi di *trend* è stata condotta sui massimi assoluti annuali e sulle somme progressive delle "n" maggiori piogge annuali (con "n" variabile da 2 a 10), al fine di rispondere al quesito se vi sia un aumento degli eventi di precipitazione intensa negli ultimi anni.

Per le 16 stazioni pluviometriche considerate:

- 7 stazioni manifestano assenza di *trend* significativo,
- 1 stazione, Arcole (VR), fornisce un limitato segnale di *trend* in decremento solo per gli eventi massimi assoluti annuale della durata di 30 minuti;
- 6 stazioni presentano *trend* in aumento significativi prevalentemente per le precipitazioni di maggiore durata (6-12 ore, meno frequentemente 3 ore) tale *trend* è presente anche nelle somme di eventi fino al 10° ordine – le stazioni sono: Cavallino (VE), Oderzo (TV), Lison di Portogruaro (VE), Mira (VE), Agna (PD) e Breda di Piave (TV);
- 2 stazioni, Codevigo (PD) e Follina (TV), presentano segnali di *trend* in aumento molto parziali (la prima solo per le piogge massime assolute annuali della durata di 1 ora; la seconda per le somme dal 1° al 5° ordine e dal 1° al 10° ordine della durata di 12 ore).

Dalla limitata analisi condotta si ha la percezione che negli ultimi 18 anni vi sia stato un incremento delle precipitazioni intense di durata 3-6-12 ore sull'area costiera centro settentrionale e sulla pianura trevigiana; alcune stazioni in prossimità della costa meridionale non presentano evidenti segnali di *trend*, ma spesso hanno fatto rilevare i massimi assoluti (anche per le somme di più ordini) negli ultimi anni.

Stazioni pluviometriche della montagna vicentina occidentale (area a maggiore precipitazione annuale della regione) non manifestano *trend* significativi (alcuni coefficienti angolari sono addirittura negativi).

Dato il limitato numero di stazioni pluviometriche considerate (16 su 160 operative) e vista la loro risposta non omogenea all'analisi di *trend*, per valutare la dimensione spaziale del fenomeno è necessario procedere ad un'indagine più approfondita considerando un campione più ampio di stazioni.

L'analisi di *trend*, in ragione del limitato numero di anni disponibili (18) e della natura stessa dei fenomeni considerati, non costituisce uno strumento per stimare nel futuro l'entità o la numerosità degli eventi di precipitazione intensa ma è semplicemente uno dei mezzi per lo studio della situazione attuale e pregressa dei fenomeni intensi.

5.3 Analisi statistica degli eventi pluviometrici intensi di breve durata registrati in alcune località della pianura Veneta tra il 1993 e il 2009

Nel presente studio si sono analizzate le eventuali variazioni intervenute nel numero degli eventi di precipitazione di elevata intensità e di breve durata registrati sulla pianura veneta tra il 1993 e il 2009 utilizzando un *set* di 15 stazioni appartenenti alla rete ARPAV. A tal fine si sono estratti per ogni anno tutti gli eventi di precipitazione più intensa, che hanno superato prefissate soglie pluviometriche, relativamente alle brevissime durate (10 minuti, 30 minuti e 1 ora) e alle brevi durate (3, 6 e 12 ore) considerando un intervallo minimo di separazione tra due eventi pari a 60 minuti. In questo modo si è potuto analizzare l'andamento nel corso degli anni del numero di eventi che hanno superato una certa soglia nell'intera area analizzata, secondo un approccio di tipo regionalizzato.

Materiali e metodi

L'analisi condotta ha riguardato i dati a scansione originale (5 minuti) di precipitazione registrati dal 1993 al 2009 presso un campione di 15 stazioni meteorologiche della rete ARPAV dislocate nell'area di pianura.

Il metodo utilizzato per lo studio della frequenza degli eventi intensi di breve durata è quello dell'analisi delle eccedenze o dei superamenti di determinate soglie che permette in tal modo di analizzare un maggior numero di eventi all'interno di un anno rispetto al criterio dei massimi annuali. Nella presente analisi inoltre viene applicato un approccio di tipo regionalizzato, considerando omogenea dal punto di vista climatico l'area di pianura rappresentata in questa prima fase del lavoro da un set di 15 stazioni distribuite sul territorio .

In questa prima fase dello studio si sono considerate le seguenti soglie pluviometriche:

Serie 1

Durata	10 min.	30 min.	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore
Precipitazione	10 mm	40 mm	60 mm	80 mm	90 mm	100 mm

Serie 2

Durata	10 min.	30 min.	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore
Precipitazione	6.6 mm	20 mm	30 mm	40 mm	45 mm	50 mm

La prima serie di soglie tiene conto della definizione di "nubifragio" (valori **evidenziati** e in grassetto), mentre la seconda è rappresentata da valori di soglia prossimi al 50% della serie precedente.

Risultati

In **Fig. 17** sono indicate le 15 stazioni utilizzate e considerate rappresentative nel loro insieme della pianura veneta. A tal proposito si sottolinea il fatto che a causa del limitato *set* di stazioni utilizzate, i risultati esposti nel presente studio sono da ritenersi del tutto indicativi e preliminari, passibili pertanto di modifiche in futuro a seguito di ulteriori analisi più complete.

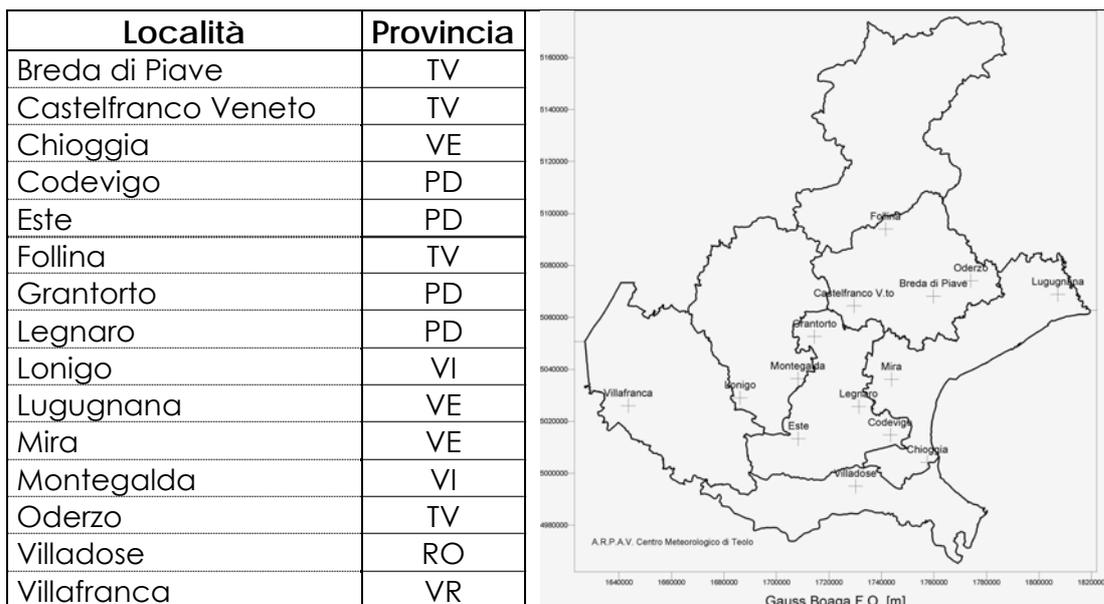


Fig.17 - Stazioni utilizzate per l'analisi e loro localizzazione sul territorio regionale

Seguono alcuni grafici rappresentativi dei principali risultati ottenuti sia analizzando l'andamento temporale anno per anno del numero di eccedenze registrate sia analizzando sottoperiodi con finestra mobile di 5 anni.

Analisi anno per anno

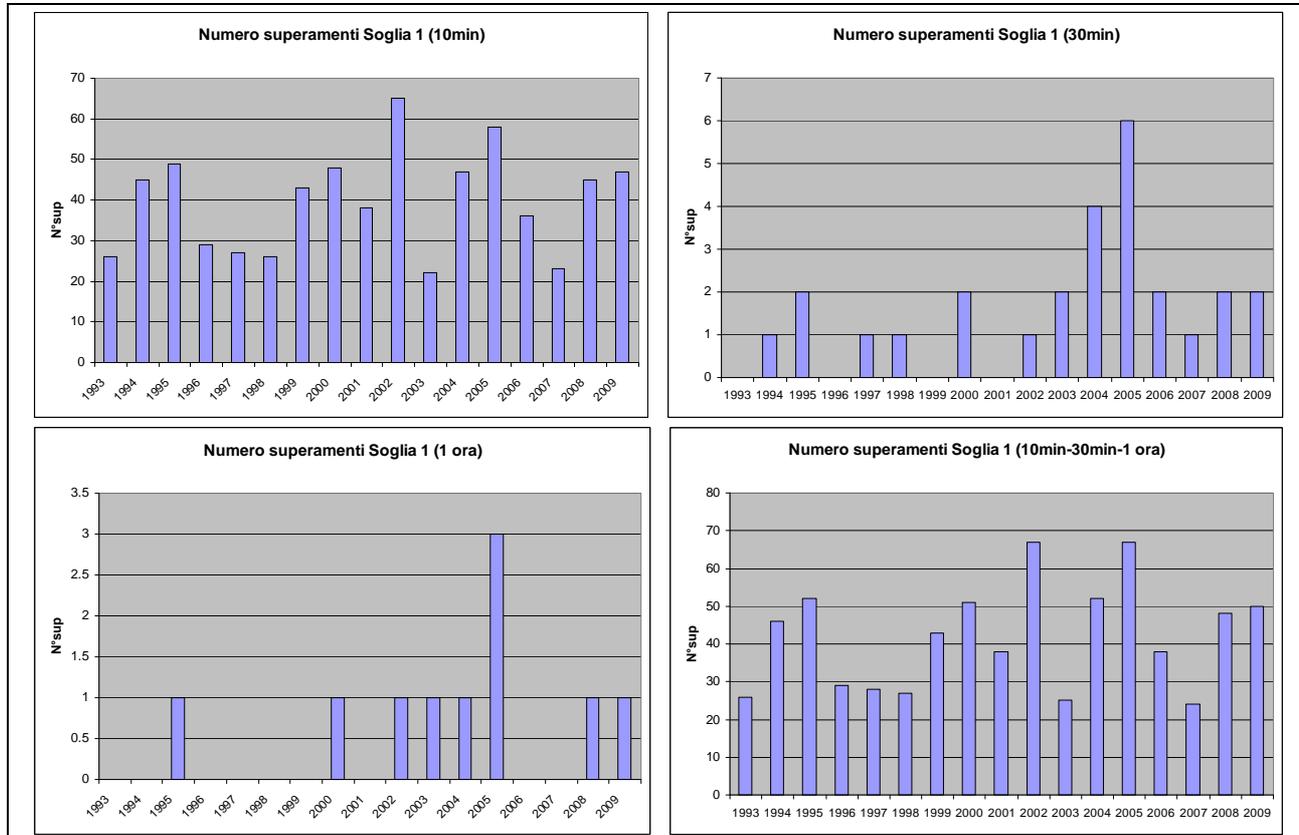


Fig. 18 - Eventi di brevissima durata (10minuti, 30minuti, 1 ora), superamenti totali soglia 1

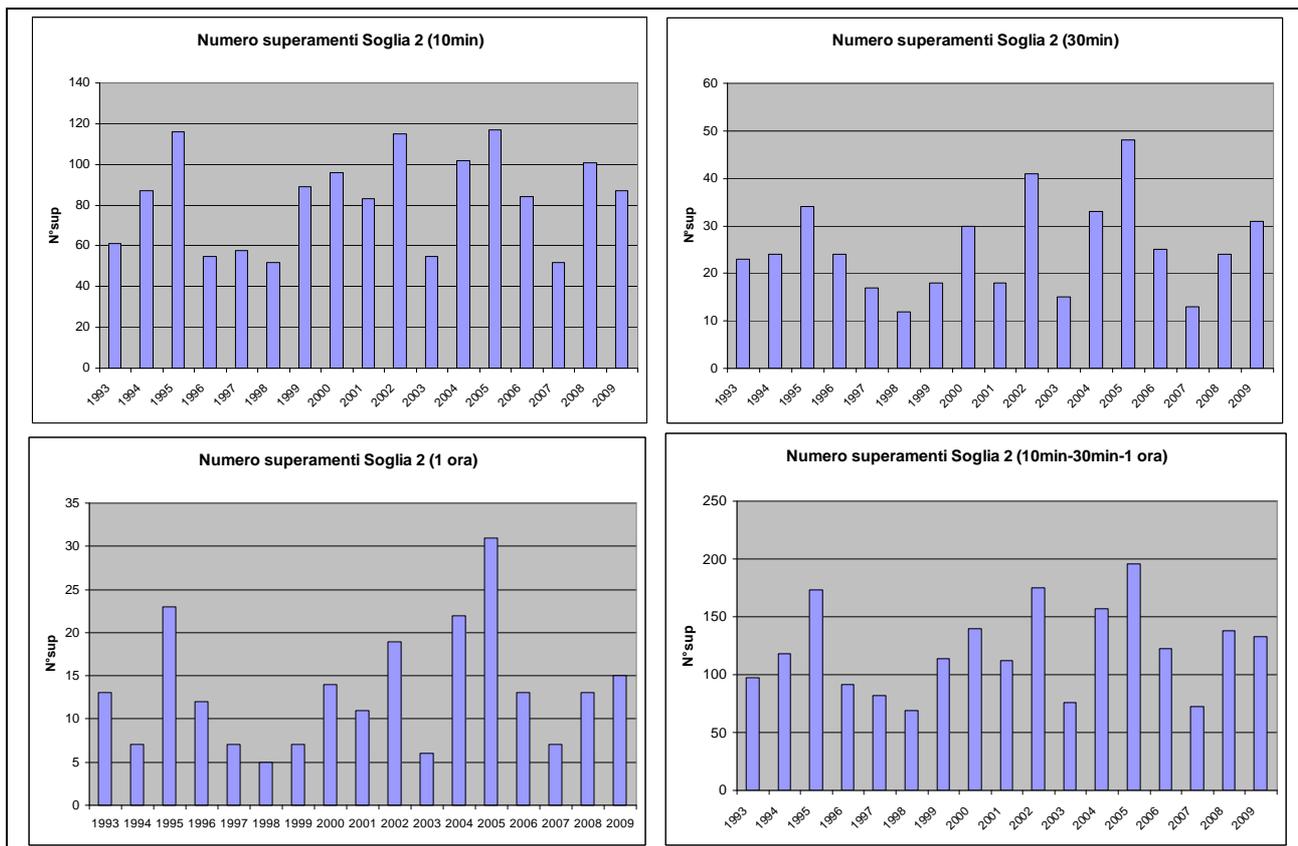


Fig. 19 - Eventi di brevissima durata (10minuti, 30minuti, 1 ora), superamenti totali soglia 2

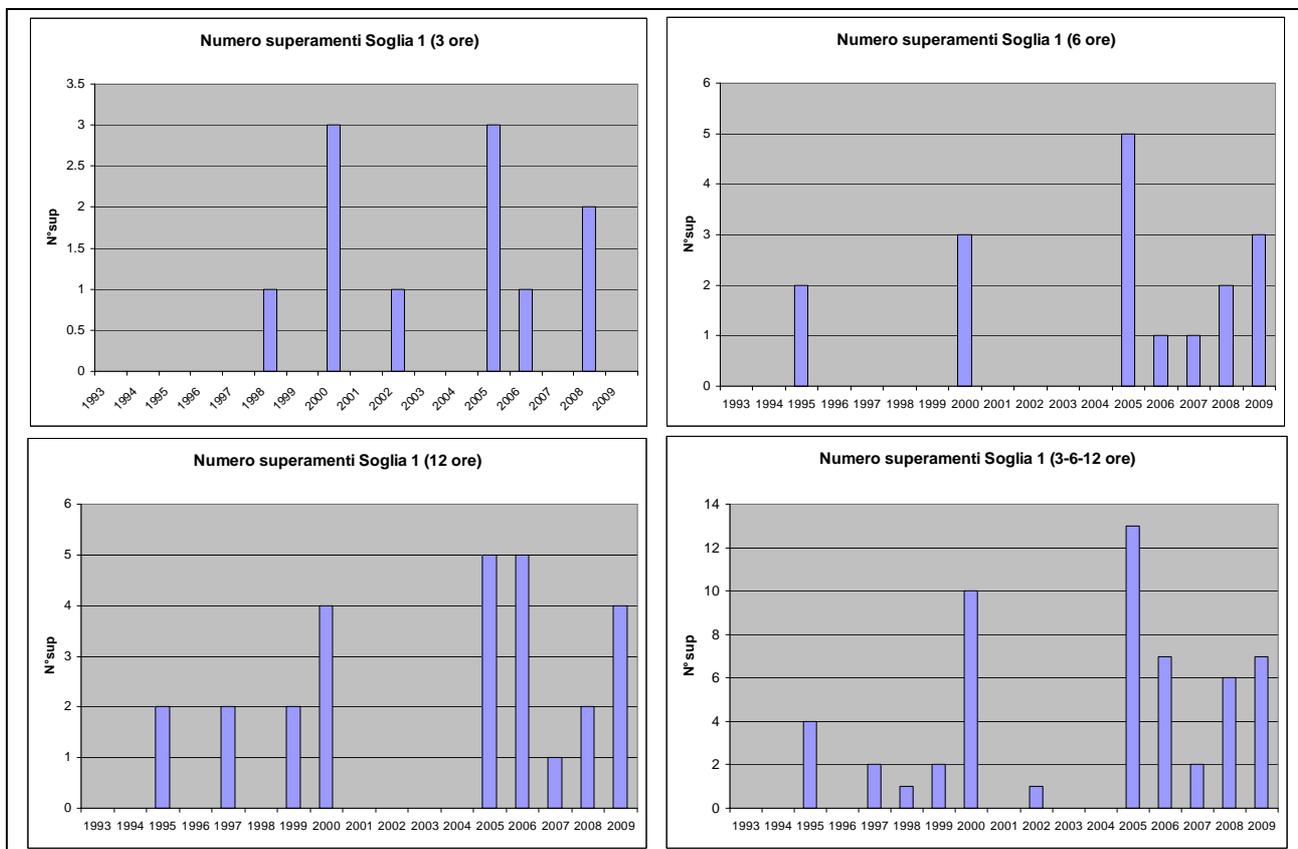


Fig. 20 - Eventi di breve durata (3, 6, 12 ore), superamenti totali soglia 1

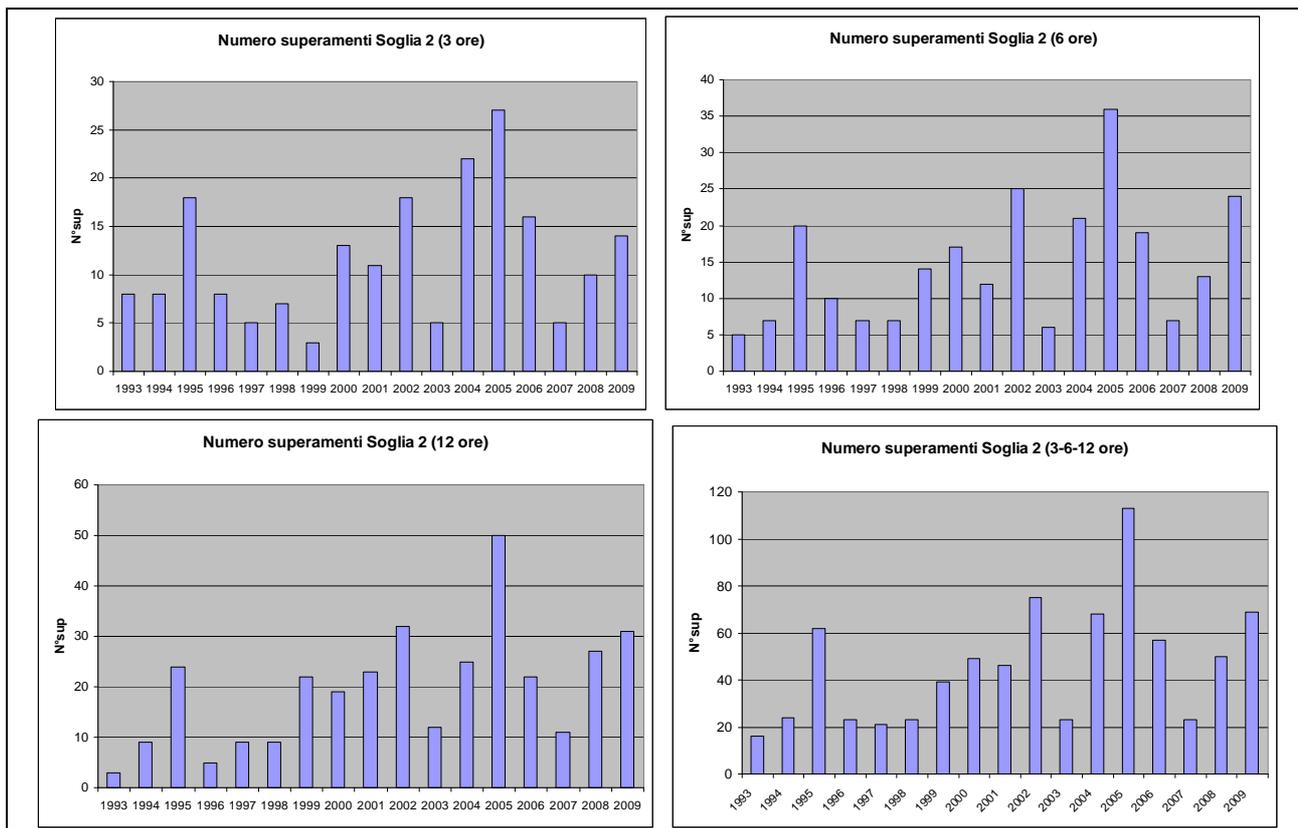


Fig. 21: Eventi di breve durata (3, 6, 12 ore), superamenti totali soglia 2

Analisi dei sottoperiodi con finestra mobile di 5 anni.

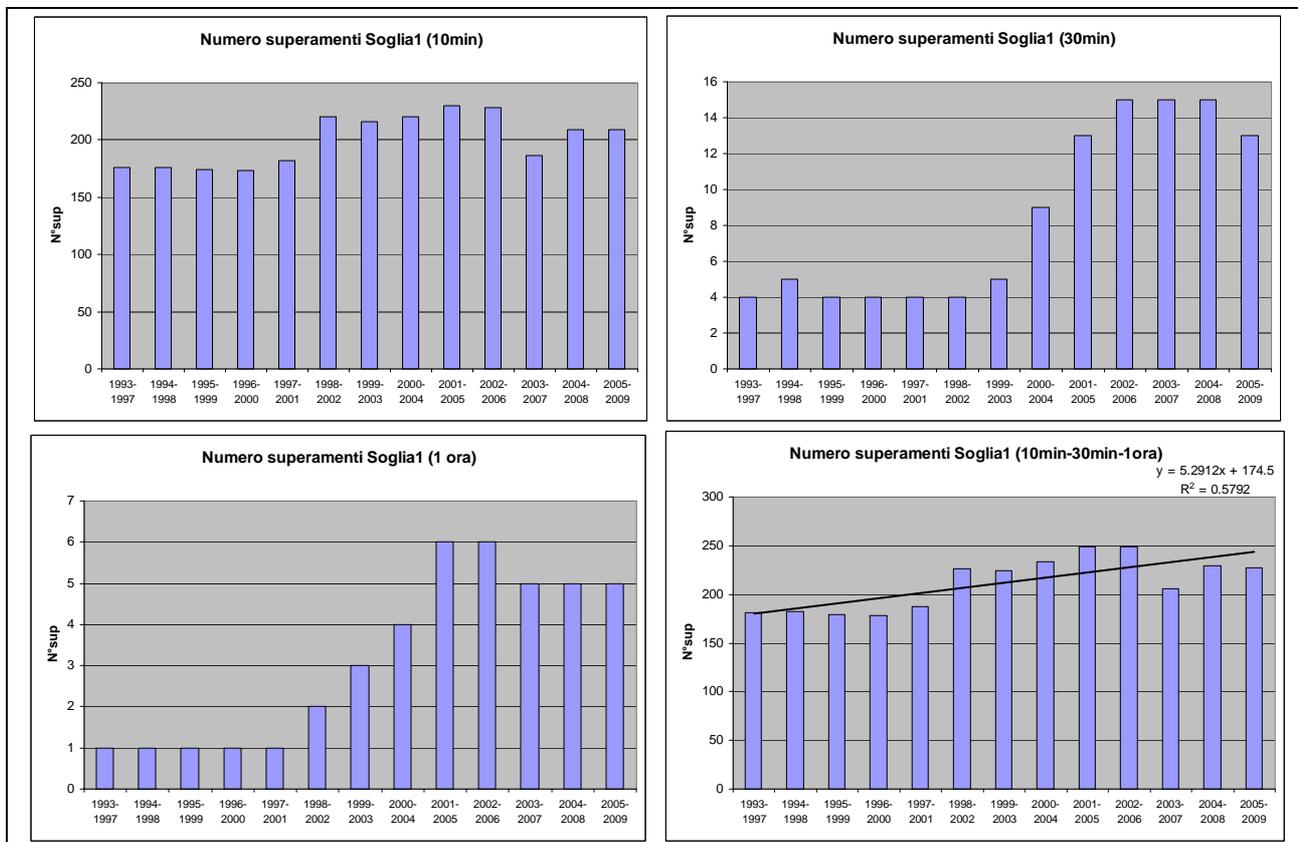


Fig. 22 - Eventi di brevissima durata (10minuti, 30minuti, 1 ora), superamenti totali soglia 1

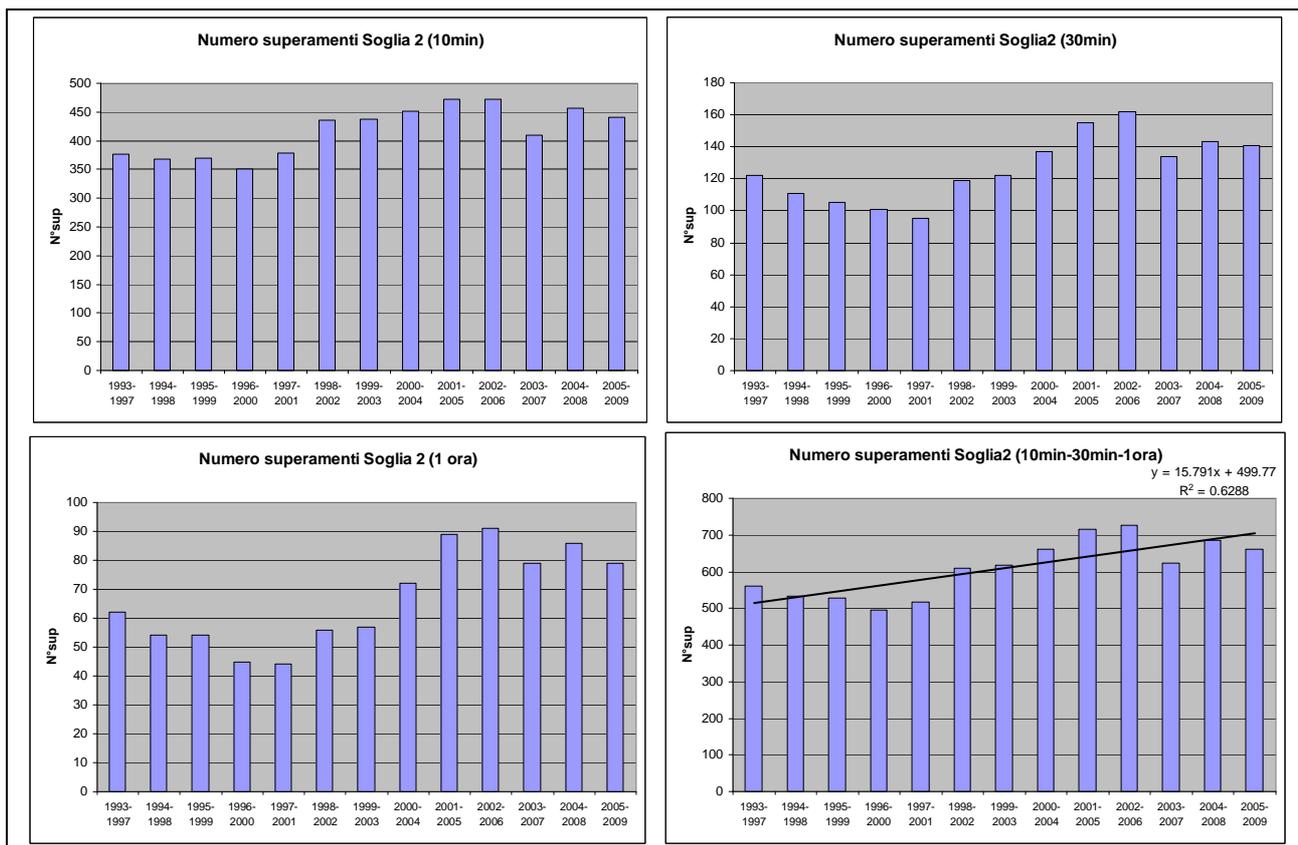


Fig. 23 - Eventi di brevissima durata (10minuti, 30minuti, 1 ora), superamenti totali soglia 2

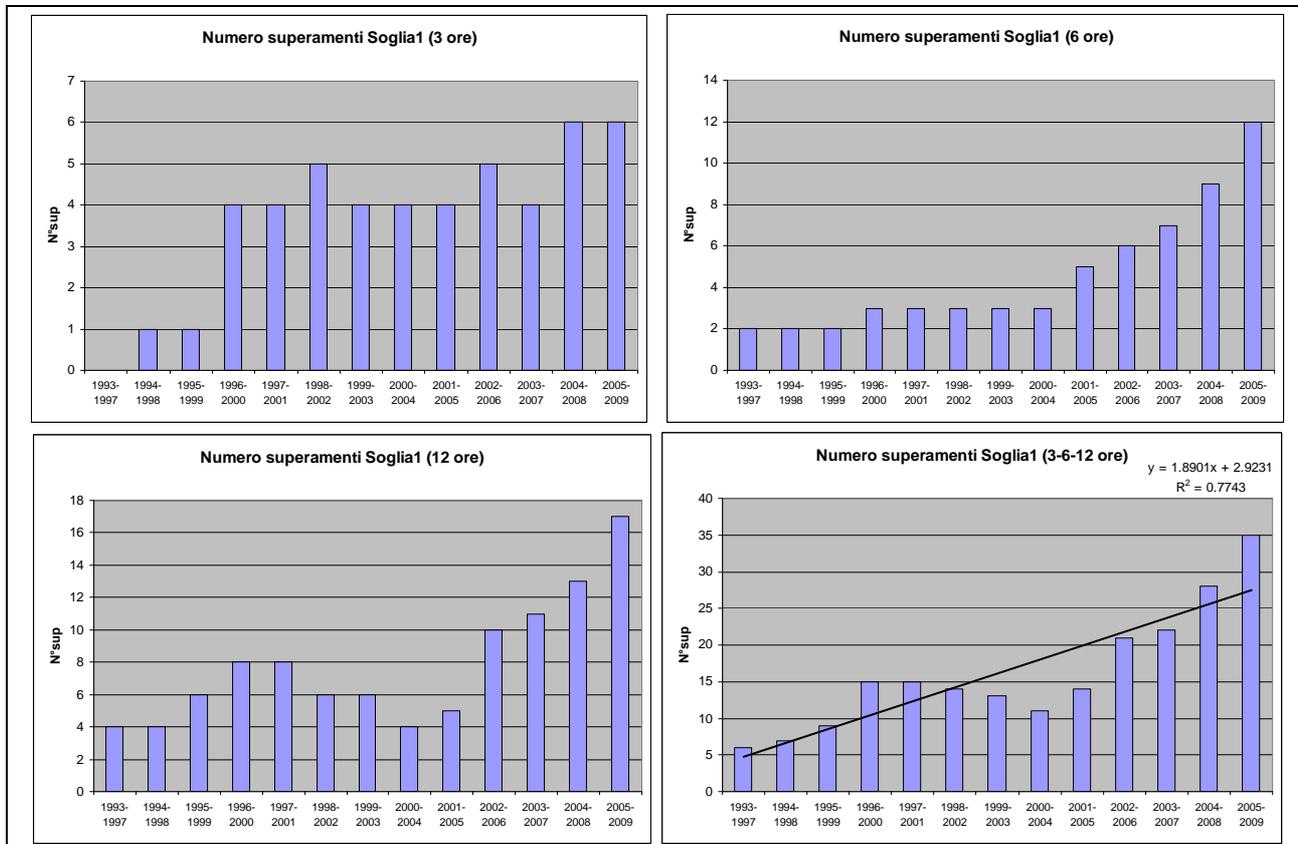


Fig. 24 - Eventi di breve durata (3, 6, 12 ore), superamenti totali soglia 1

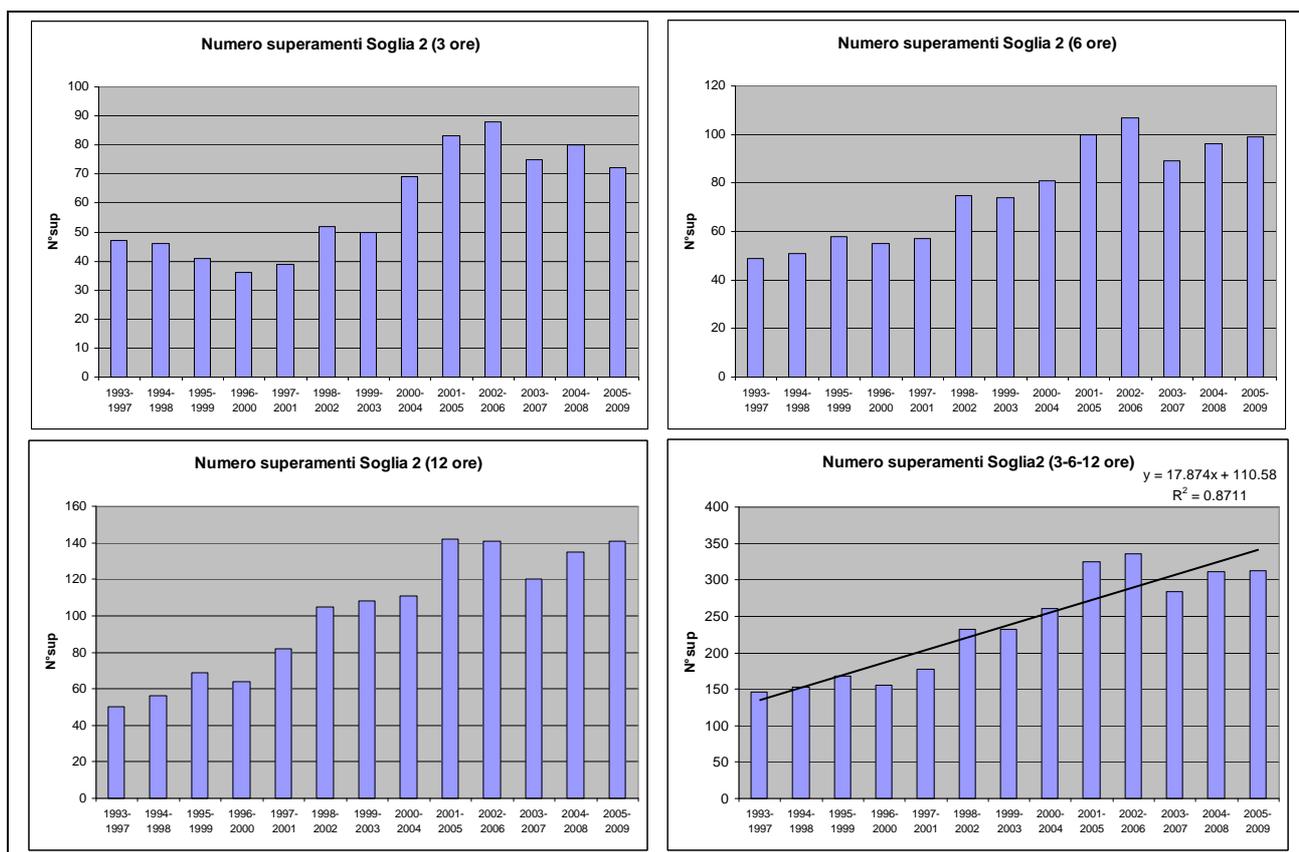


Fig. 25 - Eventi di breve durata (3, 6, 12 ore), superamenti totali soglia 2

Conclusioni

Lo studio condotto su un *set* di 15 stazioni della pianura veneta ha permesso di analizzare l'andamento tra il 1993 e il 2009 del numero di eventi intensi che hanno superato determinate soglie prefissate nell'area in esame. Il metodo utilizzato ha il pregio, rispetto all'analisi delle sole precipitazioni massime annuali per singola stazione, di considerare un più elevato numero di eventi rappresentativi dell'intera zona oggetto di studio che per tale motivo viene supposta come omogenea in termini di probabilità di accadimento del fenomeno analizzato.

I principali risultati ottenuti permettono di evidenziare alcuni casi in cui le tendenze nel numero di eventi intensi appare in crescita nel corso del periodo 1993-2009, altri in cui la tendenza sembra assumere un andamento pressoché stazionario.

In particolare la crescita risulta più marcata per gli eventi intensi di breve durata (3,6 e 12 ore) rispetto agli eventi di brevissima durata analizzati (10, 30 e 60 minuti) e tale risultato appare più chiaro analizzando il periodo attraverso finestre mobili di 5 anni.

Il numero complessivo di eventi intensi di breve durata che nelle 15 stazioni analizzate hanno superato la prima soglia di riferimento si sono infatti sempre mantenuti, nei primi sottoperiodi di 5 anni, che vanno dal 1993-1997 al 2001-2005, tra i 5 e i 15 eventi mentre negli ultimi periodi, dal 2002-2006 al 2005-2009, hanno sempre superato i 21 eventi raggiungendo un massimo di 35 nel periodo 2005-2009. Anche considerando la seconda soglia di riferimento il numero di eventi intensi di breve durata (3,6 e 12 ore) è cresciuto da 146÷232 volte circa nei primi

sottoperiodi di 5 anni che vanno dal 1993-1997 al 1999-2003, a 261÷336 volte nei più recenti sottoperiodi dal 2000-2004 al 2005-2009. Per gli eventi di brevissima durata (10, 30 e 60 minuti) la tendenza riscontrata è meno chiara soprattutto per gli eventi di durata più breve (10 minuti) mentre per le durate di 30 e 60 minuti, soprattutto analizzando il periodo attraverso le finestre mobili, si può intravedere una certa tendenza anche in questo a caso ad un aumento del numero di eventi intensi.

Al fine di migliorare e affinare i risultati è auspicabile in futuro aumentare il numero di stazioni da analizzare estendendo l'indagine anche ad altre zone della regione. Ulteriori risultati potranno inoltre ottenersi applicando altre tipologie di analisi quali ad esempio la POT (*Peak-Over-Threshold*) che permette di analizzare la frequenza di occorrenza di eventi sopra una certa soglia per differenti valori di soglia, estendendo in tal modo l'analisi che nel presente studio considera solo due soglie per ogni durata di precipitazione.

5.4 Analisi di un indice di concentrazione delle precipitazioni giornaliere in Veneto nel periodo 1956-2009.

Nell'ambito di uno studio riguardante gli eventi estremi, l'analisi del regime pluviometrico a risoluzione giornaliera e l'individuazione di eventuali variazioni intercorse negli ultimi decenni, assume notevole interesse non solo dal punto di vista meramente climatologico ma anche per le sue evidenti ricadute in diversi altri aspetti sia ambientali che sociali, inerenti ad esempio il rischio idro-geologico e idraulico del territorio nonché l'utilizzo delle risorse idriche.

La percezione di un cambiamento climatico avvenuto negli ultimi decenni, soprattutto in termini di maggior frequenza degli eventi estremi, è un fatto che coinvolge sempre più la gente e gli amministratori locali, anche supportato da una crescente disponibilità di contributi scientifici e divulgativi nonché da un'aumentata coscienza e interesse nei confronti dell'ambiente.

Nel caso delle precipitazioni in particolare, una delle domande più comuni e frequenti è quella ad esempio se a livello locale si è riscontrata o meno una tendenza negli ultimi anni ad una maggior concentrazione delle piogge in pochi eventi molto piovosi. Il contributo che segue ha proprio lo scopo di individuare se negli ultimi decenni (dal 1956 al 2009) il regime delle precipitazioni giornaliere in Veneto ha registrato una tendenza all' "estremizzazione" degli eventi ovvero se nel tempo si è andato a modificare il contributo dei giorni più piovosi sull'ammontare totale delle precipitazioni.

Materiali e metodi

L'analisi condotta ha riguardato i dati giornalieri di precipitazione registrati dal 1956 al 2009 presso un campione di stazioni meteorologiche tra quelle disponibili, nella maggior parte appartenenti alla rete dell'Ex Ufficio Idrografico di Venezia, per il periodo 1956-2004, e alla rete ARPAV, per il periodo 1993-2009.

In via preliminare, sulla base di criteri legati essenzialmente alla consistenza interna delle serie di dati e alla distanza tra i punti di monitoraggio, si sono individuati 14 punti stazione distribuiti sul territorio regionale, formati da coppie di serie di dati provenienti dalle due reti sopracitate. In tal modo per ognuno dei 14

punti individuati è stata creata una serie composta per il periodo 1956-2004 dai dati provenienti da stazioni appartenenti alla rete del Ex Servizio Idrografico e per il restante periodo 2005-2009 dai dati raccolti dalla rete di stazioni ARPAV.

Il metodo statistico utilizzato per lo studio del regime delle precipitazioni giornaliere è stato tratto da un lavoro eseguito in Spagna dal Gruppo di Climatologia dell'Università di Barcellona (Martin-Vide, 2004)¹⁶ e applicato in via sperimentale su alcune stazioni del Veneto nell'ambito di un recentissimo intervento a cura del Centro Meteorologico di Teolo presentato alla 11° Plinius - *Mediterranean Storm Conference* (Monai, Barbi, Racca, 2010).

Esso consiste essenzialmente nell'analizzare il contributo delle precipitazioni giornaliere nel determinare il totale annuo attraverso un **indice di concentrazione (CI index)**. A tal fine, per ogni stazione pluviometrica, si classificano tutti i giorni piovosi in base alla pioggia giornaliera registrata, si calcolano le percentuali cumulative di giorni piovosi e di pioggia cumulata e si graficano ottenendo una sorta di diagramma cumulativo (Fig.26).

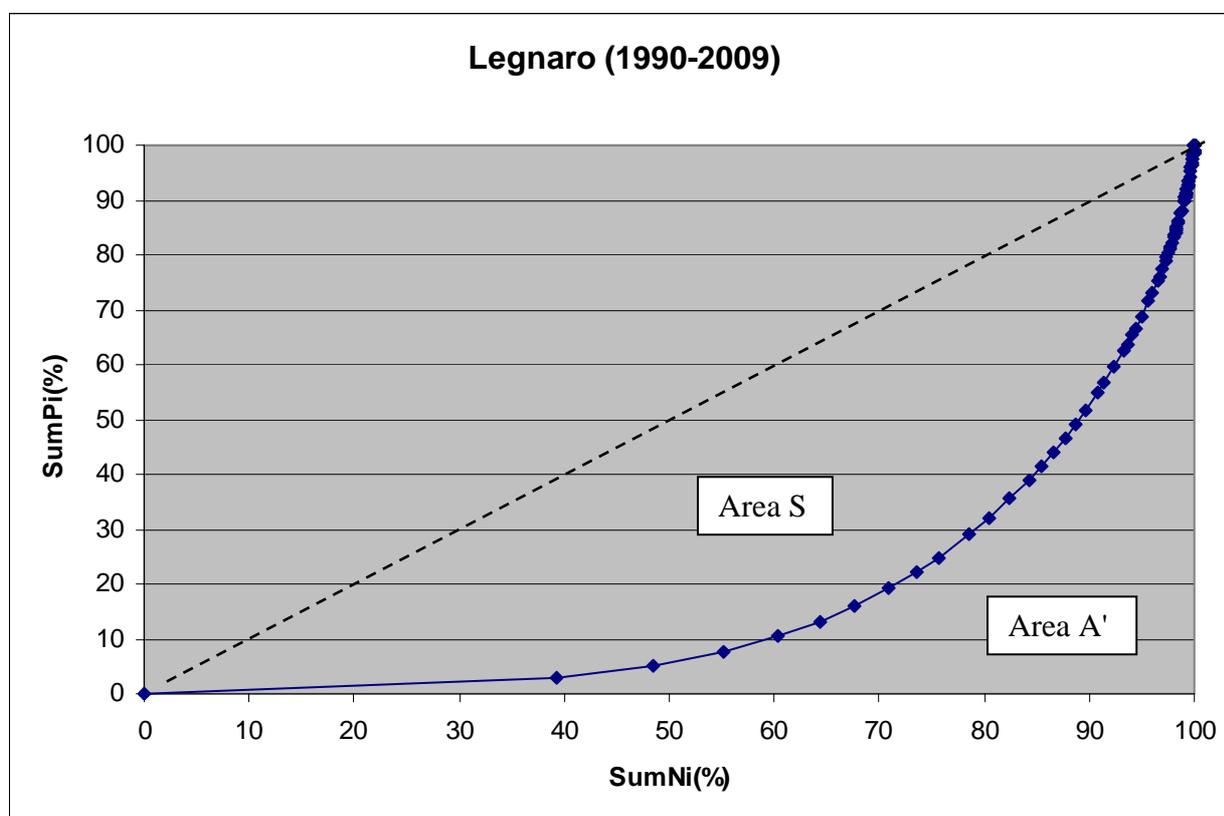


Fig. 26 - Accumulata percentuale del numero di giorni piovosi (SumNi%) e accumulata percentuale della precipitazione totale (SumPi%) a Legnaro (1990-2009). La linea tratteggiata rappresenta la bisettrice ovvero una distribuzione ideale delle precipitazioni giornaliere perfettamente equidistribuite.

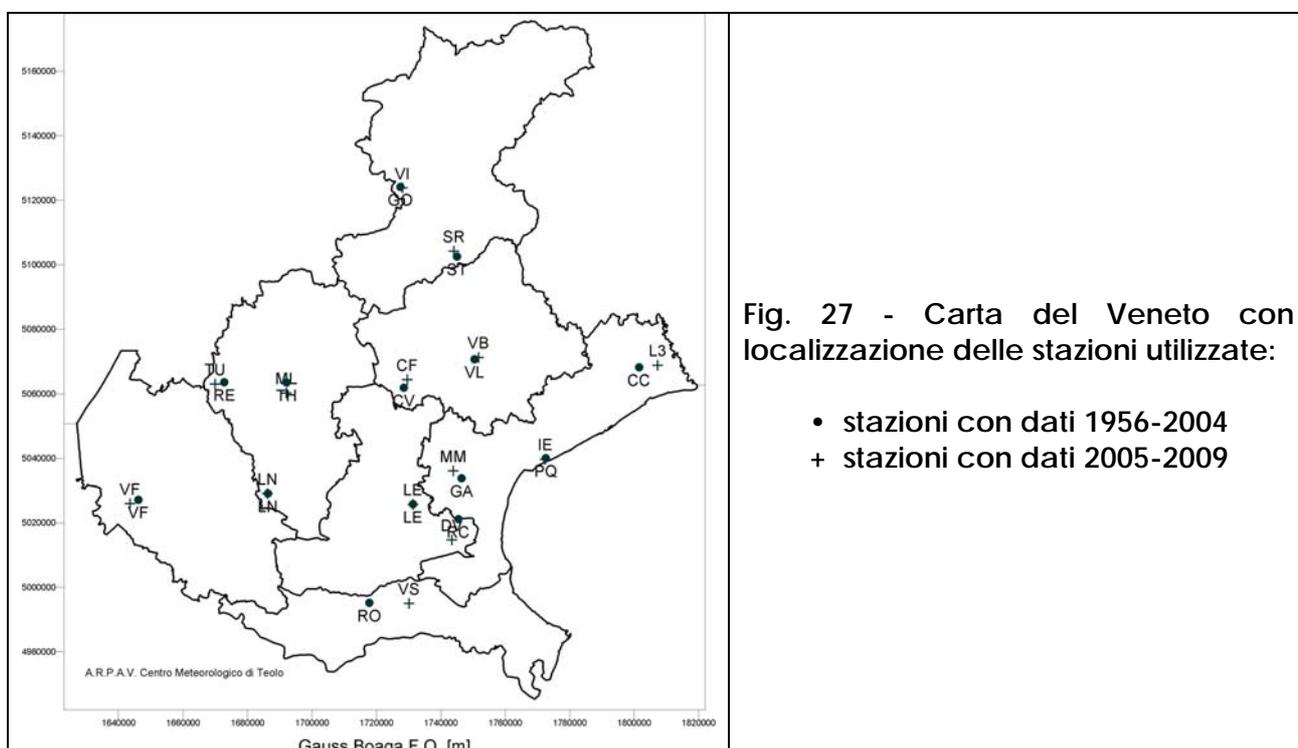
Dalla Fig.26 si può notare come la linea poligonale, in questo caso calcolata per la stazione di Legnaro per il periodo 1990-2009, sia di tipo esponenziale mentre la linea diagonale tratteggiata indica la linea di equidistribuzione che rappresenta il caso teorico in cui il totale pluviometrico è accumulato in giorni con eguali

¹⁶ cfr. 9.15 Bibliografia

valori di precipitazione. La concentrazione delle precipitazioni (o il grado di irregolarità delle precipitazioni giornaliere) può essere quindi rappresentato dalla separazione tra la curva reale di concentrazione e la linea teorica di equidistribuzione: l'area **S** racchiusa tra la bisettrice del quadrante e la linea poligonale rappresenta quindi una misura del grado di concentrazione perché più grande è l'area, maggiore è la concentrazione. Quest'area è definita come **Indice di Concentrazione (CI index)** e rappresenta quindi la misura di come la precipitazione totale è concentrata in pochi giorni piovosi: per alti valori di concentrazione delle precipitazioni il **CI** tende ad uno, per bassi valori di concentrazione il **CI** tende a zero. Pertanto a crescenti valori del **CI** le precipitazioni assumono un più elevato grado di irregolarità e aggressività ovvero gli eventi più intensi assumono un crescente peso nel determinare la precipitazione totale.

Risultati

In **Tab. 4** e in **Fig. 27** sono indicati i 14 punti stazione utilizzati per l'analisi dell'indice di concentrazione delle precipitazioni giornaliere in Veneto nel periodo 1956-2009. Le località prese in esame appartengono nella maggior parte dei casi all'area di pianura della regione (11 stazioni su 14) mentre per la zona montana sono state analizzate in questa prima fase del lavoro 3 stazioni tra le più piovose della regione, appartenenti all'area prealpina/Dolomiti meridionali. A tal proposito si sottolinea il fatto che a causa del limitato set di stazioni utilizzate e della possibile non omogeneità tra le serie di dati, i risultati esposti nel presente studio sono da ritenersi del tutto indicativi e preliminari, passibili pertanto di modifiche in futuro a seguito di ulteriori analisi più complete.



Tab. 4 - Principali indicatori elaborati per il periodo 1956-2009 nei 14 punti stazione: Concentration Index (CI), percentuale della precipitazione totale determinata dal 25% dei giorni più piovosi (PTOT% 25%GP), precipitazione media annuale (P mm), coefficiente di variazione delle precipitazioni annuali (CV%), numero di giorni piovosi medio annuo (N° gp), massima precipitazione giornaliera (max PG mm) e percentuale su precipitazione media annua della precipitazione massima giornaliera (%PG).

SIGLA	LOCALITA'	QUOTA [m]	PROV	CI 1956-2009	P TOT (25%GP)	P (mm)	CV %	N° gp	max PG (mm)	% max PG
GA	Gambarare di Mira	3	VE	0.61	72.24	855.73	15.68	79.65	168.80	19.73
MM	Mira	5	VE							
LE	Legnaro	10	PD	0.65	75.01	833.40	16.35	82.80	168.80	20.25
LE	Legnaro	8	PD							
PQ	Cà Pasquali	2	VE	0.64	74.57	803.46	19.98	77.96	158.00	19.66
IE	Cavallino	1	VE							
CC	Concordia Sagittaria	5	VE	0.65	77.20	953.04	20.43	85.98	196.40	20.61
L3	Lugugnana	0	VE							
VL	Villorba	38	TV	0.64	74.57	1054.21	19.04	91.35	129.00	12.24
VB	Villorba	41	TV							
CV	Castelfranco V.to	44	TV	0.62	73.21	1047.47	17.92	89.35	108.00	10.31
CF	Castelfranco V.to	50	TV							
LN	Lonigo	28	VI	0.58	70.56	819.61	20.35	76.33	97.00	11.83
LN	Lonigo	28	VI							
TH	Thiene	147	VI	0.57	70.27	1322.37	20.87	91.52	117.40	8.88
ML	Malo	99	VI							
VF	Villafranca V.se	68	VR	0.60	71.73	814.74	19.37	79.87	103.60	12.72
VF	Villafranca V.se	66	VR							
RO	Rovigo	7	RO	0.65	74.73	692.58	21.63	74.96	138.00	19.93
VS	Villadose	0	RO							
RC	Rosara di Codevigo	3	PD	0.64	74.52	741.99	19.39	78.02	160.20	21.59
DV	Codevigo	0	PD							
RE	Recoaro	445	VI	0.64	74.88	2055.67	23.31	109.74	306.00	14.89
TU	Turcati	705	VI							
ST	S.Antonio di Tortal	513	BL	0.67	76.83	1658.49	20.72	103.57	243.00	14.65
SR	S.Antonio di Tortal	540	BL							
GO	Gosaldo	1141	BL	0.62	73.20	1601.54	21.19	114.89	255.00	15.92
VI	Villa S.Andrea	1250	BL							

Nel periodo 1956-2009, nei 14 punti stazione indagati, i valori del CI variano da minimi di 0.57÷0.60, riscontrabili in località appartenenti alla pianura occidentale (Villafranca, Lonigo, Thiene/Malo), a massimi di 0.65÷0.67 registrati tra località della pianura centro-meridionale (Rovigo/Villadose, Legnaro), della fascia costiera nord-orientale (Concordia Sagittaria) e delle Prealpi orientali (S.Antonio di Tortal). A tali valori di CI, corrispondono percentuali di precipitazione sul totale causate dal 25% dei giorni più piovosi, che variano da circa il 70÷72% a circa il 75÷77%.

Nei confronti degli altri indicatori analizzati (Precipitazione media annua, Coefficiente di variazione della precipitazione media annua, Numero di giorni piovosi, Massima precipitazione giornaliera e Percentuale della precipitazione massima giornaliera sulla precipitazione media annua) la maggior correlazione

con il **CI** è stata trovata con la percentuale della precipitazione massima giornaliera sulla precipitazione media annua (Correl. >0.61): quest'ultimo indicatore, come si può notare in **Tab. 4**, raggiunge infatti i valori più elevati (19÷22%) in corrispondenza delle località di pianura più prossime alla costa. Anche in altri studi simili compiuti su aree del Mediterraneo (Martin-Vide, 2004, De Luis et al. 2000) le zone costiere oltre a registrare le più alte percentuali dei massimi di precipitazione rispetto al totale, mostrano anche una maggior irregolarità nella distribuzione intrannuale delle precipitazioni. Tali caratteristiche infatti possono essere spiegate anche dal fatto che gli eventi estremi giornalieri, che in queste zone accadono principalmente in autunno, sono strettamente legati ad effetti locali dovuti alla vicinanza del mare che in questo periodo dell'anno favorisce lo sviluppo e la persistenza di forti sistemi convettivi capaci di scaricare elevati quantitativi di precipitazione in breve tempo e in aree ristrette (Monai et al., 2010).

Le carte regionali che seguono, anche se da ritenersi del tutto indicative e provvisorie in quanto ottenute con un limitato numero di stazioni (14), possono fornire un quadro più immediato della situazione a livello spaziale registrata sul Veneto nel periodo 1956-2009 relativamente ad alcuni indicatori tra quelli esposti in **Tab. 4**.

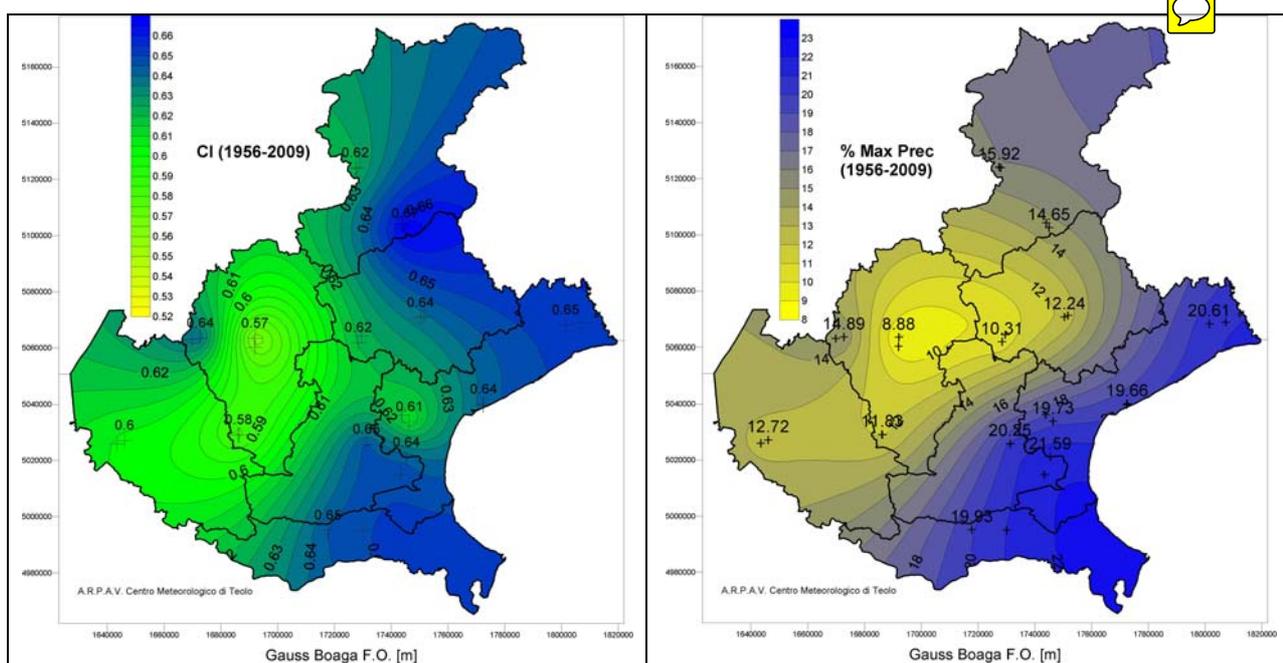


Fig. 28 – (a sinistra) Carta delle isolinee di CI registrato in Veneto (14 stazioni) nel periodo 1956-2009. (a destra) Carta delle isolinee relativa alla percentuale di precipitazione totale determinata dal 25% dei giorni più piovosi. (interpolazione spaziale ottenuta mediante tecnica Kriging).

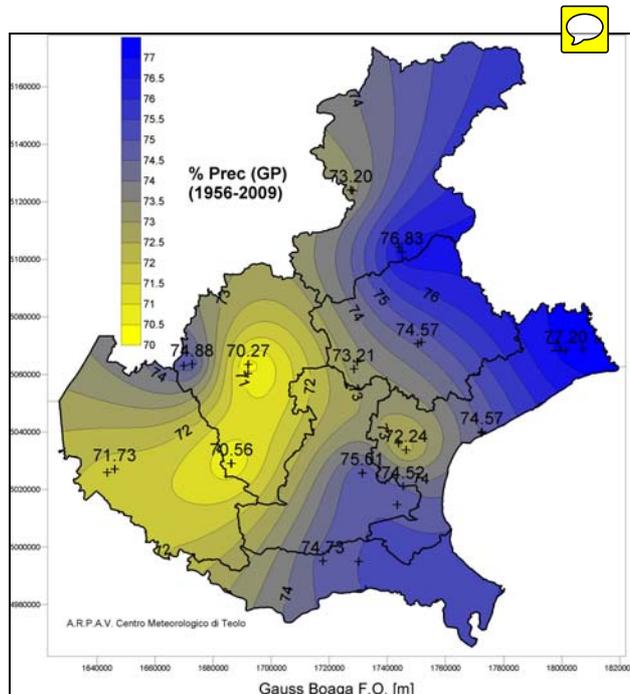


Fig. 29 - Carta delle isolinee della percentuale di precipitazione media annua determinata dalla massima precipitazione giornaliera relativa al periodo 1956-2009 (14 stazioni, interpolazione spaziale ottenuta mediante tecnica Kriging).

Al fine di poter individuare eventuali variazioni del livello di concentrazione delle precipitazioni giornaliere intervenute nel corso periodo in analisi, si sono individuati in questa prima fase preliminare dello studio, tre sottoperiodi costituiti dagli anni 1990-2009, 1970-1989 e 1956-1969. Per ognuno dei sottoperiodi e per ogni punto stazione si è dunque calcolato l'indice di concentrazione delle precipitazioni giornaliere (**CI - Concentration Index**) e la percentuale di precipitazioni sul totale, determinata dal 25% dei giorni più piovosi. In futuro altre analisi più approfondite potranno fornire un quadro più completo della situazione.

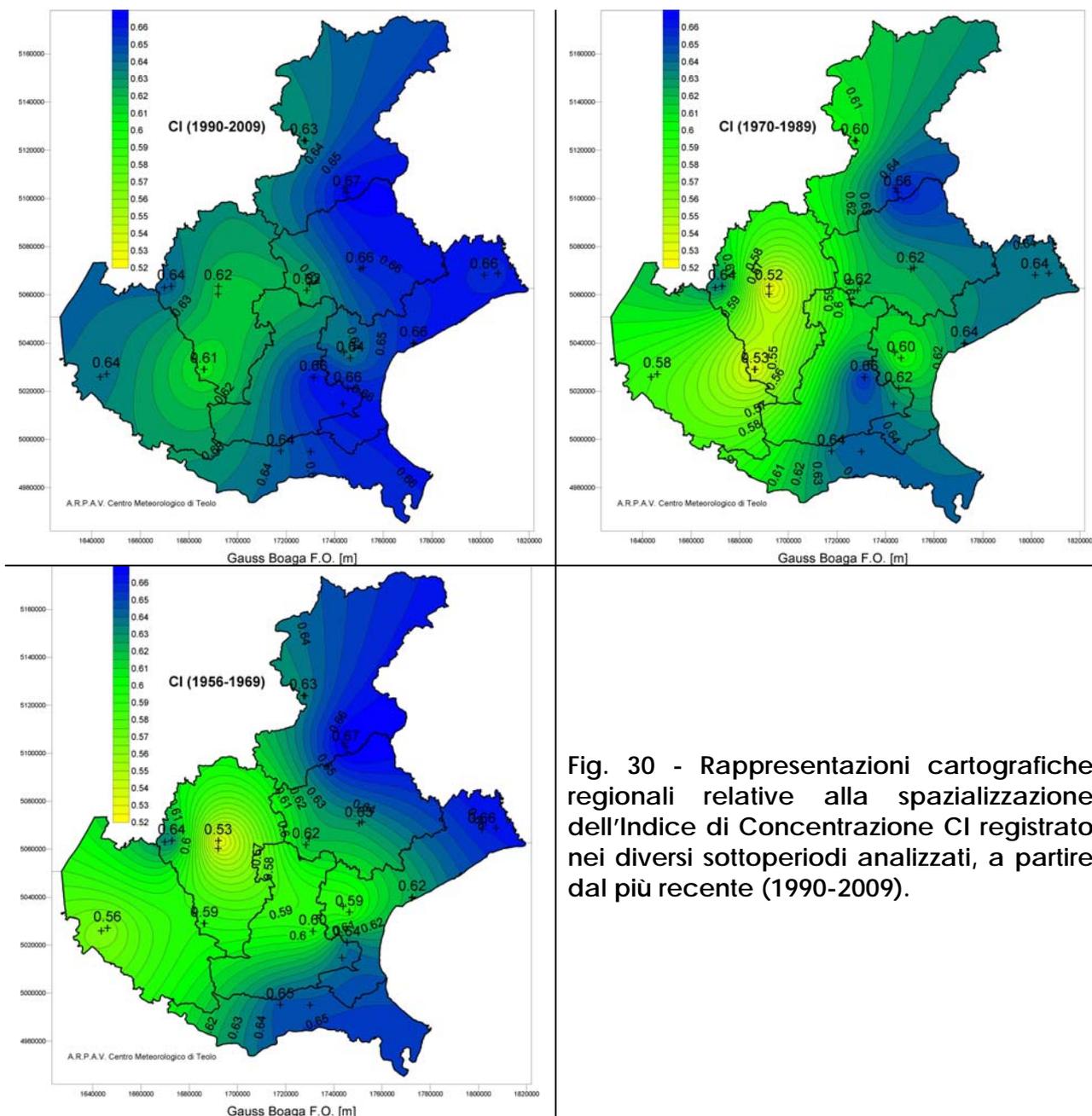


Fig. 30 - Rappresentazioni cartografiche regionali relative alla spazializzazione dell'Indice di Concentrazione CI registrato nei diversi sottoperiodi analizzati, a partire dal più recente (1990-2009).

I risultati mostrano innanzitutto come anche all'interno dei diversi sottoperiodi analizzati, seppur con locali differenze, le caratteristiche in termini spaziali non si discostano molto da quelle emerse considerando l'intero periodo 1956-2009, ossia i valori più elevati di CI e di percentuale di precipitazione causata dai giorni più piovosi risultano maggiormente presenti sulla pianura centro-orientale, sulla costa e su Prealpi orientali. Dall'analisi temporale invece emerge abbastanza chiaramente un'accentuazione nel tempo del grado di concentrazione delle precipitazioni soprattutto nell'ultimo periodo (1990-2009). Nel corso del periodo in analisi il CI è cresciuto in media da valori di $0.61 \div 0.62$ nei primi due sottoperiodi (1956-1969 e 1970-1989) a un valore medio di 0.64 dell'ultimo sottoperiodo (1990-2009). Anche nei riguardi dei livelli percentuali di precipitazione causati dai giorni più piovosi, si è passati da valori del $72-73\%$ nei primi due sottoperiodi ad un valore medio del 75% circa dell'ultimo sottoperiodo.

Analizzando singolarmente i punti stazioni si può notare come in tutte le località prese in esame nell'ultimo sottoperiodo i livelli di concentrazione delle precipitazioni siano aumentati rispetto ad almeno uno dei due precedenti periodi in 11 casi su 14 mentre nei restanti 3 casi sono risultati pressoché stabili (Recoaro, Castelfranco e Rovigo). Mentre tra i due primi sottoperiodi (1965-1969 e 1970-1989) le differenze registrate sembrano assumere un comportamento molto irregolare e contrastato, le differenze tra l'ultimo sottoperiodo (1990-2009) e i due precedenti appare più definito con una prevalenza come già evidenziato di casi con aumento del grado di concentrazione delle precipitazioni. In particolare maggiori incrementi tra il periodo 1990-2009 e il 1970-1989 si sono registrati a Thiene-Malo (+9%), a Lonigo (+7%) e a Villafranca V.se (+5%), mentre analizzando le differenze tra i periodi 1990-2009 e 1956-1969 i maggiori incrementi si sono avuti a Thiene-Malo (+9%), a Villafranca e a Legnaro (+7%) e a Gambarare-Mira (+5%).

Considerazioni

La disponibilità di una lunga serie di dati giornalieri di precipitazione tra il 1956 e il 2009 ha permesso di compiere una prima analisi su 14 località del Veneto allo scopo di individuare eventuali differenze territoriali e variazioni intervenute negli ultimi decenni nella struttura statistica delle precipitazioni giornaliere ovvero nel loro grado di concentrazione in rapporto al totale pluviometrico. A tal fine è stato applicato un indice di concentrazione delle precipitazioni giornaliere (**CI Concentration Index**) calcolato per ogni località sulla base delle curve di concentrazione che mettono in relazione la percentuale di precipitazione accumulata con la percentuale accumulata dei giorni di precipitazione. L'indice **CI** fornisce pertanto un'indicazione normalizzata del grado di concentrazione o di irregolarità delle precipitazioni giornaliere nel determinare i totali pluviometrici di una determinata località e quindi può essere utilmente impiegato anche per la stima del peso che assumono gli eventi di precipitazione più intensa nel determinare la precipitazione totale.

Nel periodo 1956-2009, nei 14 punti stazione indagati, i valori del **CI** variano da minimi di 0.57÷0.60, riscontrabili in località appartenenti alla pianura occidentale, a massimi di 0.65÷0.67 registrati tra località della pianura centro-meridionale, della fascia costiera nord-orientale e delle Prealpi orientali. A tali valori di **CI**, corrispondono percentuali di precipitazione sul totale causate dal 25% dei giorni più piovosi, che variano da circa il 70÷72% a circa il 75÷77%.

Nei confronti di altri indicatori inerenti la precipitazione, la maggior correlazione positiva con il **CI** è stata trovata con la percentuale della precipitazione massima giornaliera sulla precipitazione media annua che in Veneto raggiunge i valori più elevati (19÷22%) in corrispondenza delle località di pianura più prossime alla costa. Tali indicazioni confermano come gli eventi estremi giornalieri caratteristici di queste zone, specie in autunno, siano strettamente legati ad effetti locali dovuti alla vicinanza del mare che in questo periodo dell'anno favorisce lo sviluppo e la persistenza di forti sistemi convettivi capaci di scaricare elevati quantitativi di precipitazione in breve tempo e in aree ristrette (Monai et al., 2010).

Dall'analisi temporale del **CI** registrato in tre diversi sottoperiodi con i quali è stato suddiviso l'intero periodo, emerge abbastanza chiaramente una prevalente

accentuazione nel tempo del grado di concentrazione delle precipitazioni in Veneto, soprattutto nell'ultimo periodo (1990-2009). Nel corso del periodo in analisi il **CI** è cresciuto in media da valori di 0.61÷0.62 nei primi due sottoperiodi (1956-1969 e 1970-1989) a un valore medio di 0.64 dell'ultimo sottoperiodo (1990-2009). Anche nei riguardi dei livelli percentuali di precipitazione causati dai giorni più piovosi, si è passati da valori del 72-73% nei primi due sottoperiodi ad un valore medio del 75% circa dell'ultimo sottoperiodo. Analizzando singolarmente i punti stazioni si può notare come in tutte le località prese in esame nell'ultimo sottoperiodo i livelli di concentrazione delle precipitazioni siano aumentati rispetto ad almeno uno dei due precedenti periodi in 11 casi su 14 mentre nei restanti 3 casi sono risultati pressoché stabili (Recoaro, Castelfranco e Rovigo). Mentre tra i due primi sottoperiodi (1965-1969 e 1970-1989) le differenze registrate sembrano assumere un comportamento molto irregolare e contrastato, le differenze tra l'ultimo sottoperiodo (1990-2009) e i due precedenti appare più definito con una prevalenza come già evidenziato di casi con aumento del grado di concentrazione delle precipitazioni.

Preme infine sottolineare che i risultati ottenuti rappresentano solo una preliminare e parziale indicazione del grado di concentrazione delle precipitazioni giornaliere registrate in Veneto negli ultimi decenni. Futuri approfondimenti, considerando un più ampio set di stazioni e applicando ulteriori e più robuste tecniche statistiche, potranno fornire un quadro più completo ed esaustivo della situazione.

5.5 Analisi dei dati radar relative all'attività temporalesca in Veneto nel periodo 2005-2009.

I radar meteorologici sono ormai uno strumento indispensabile per la gestione di eventi di precipitazioni intense, grazie alla loro capacità di osservare l'atmosfera con continuità nello spazio e nel tempo. Anche se la stima quantitativa della precipitazione accumulata al suolo rappresenta tuttora una sfida notevole in termini scientifici e tecnologici, il rilevamento di fenomeni convettivi (temporali), specie se intensi, avviene con grande affidabilità, permettendo così un monitoraggio dettagliato nello spazio e una previsione per le 1-3 ore successive.

Questa capacità di '*vedere*' i temporali viene spesso sfruttata per automatizzare il rilevamento di celle temporalesche, al punto da poterne caratterizzare i particolari più salienti, come l'intensità, l'altezza della cella, la probabilità di riscontrare grandine, etc. Ciò può costituire la base per un vero e proprio sistema automatico di allertamento della presenza di fenomeni intensi su aree anche circoscritte, come per esempio i territori comunali o provinciali.

Va considerato comunque che questa è attualmente una tecnica d'analisi avanzata ed innovativa, per la quale non esistono ancora adeguati riscontri nella letteratura. Un'ulteriore difficoltà è costituita dalla mole di dati prodotta dai radar, che rende difficile l'analisi su lunghi periodi. D'altro canto, non vi sono a disposizione serie di dati radar molto lunghe, per le quali sia stato fatto un controllo di qualità e tale fatto limita il valore climatologico di questo tipo di analisi.

In questa analisi la capacità dei radar meteorologici di rilevare in automatico celle temporalesche è stata utilizzata per costruire un inventario dell'attività convettiva intensa per le stagioni calde degli anni dal 2005 al 2009, con lo scopo di confermare l'esperienza soggettiva di una recente crescita della frequenza dei fenomeni intensi, almeno su parte della nostra regione ed in particolare sulla zona costiera.

Base dati radar e metodo d'analisi

Per lo studio attuale sono stati analizzati dati provenienti dagli impianti meteoradar del Monte Grande e di Concordia Sagittaria gestiti dall'ARPAV.

Il periodo di studio comprende le stagioni calde (mesi da maggio a settembre), per gli anni dal 2005 al 2009, durante i quali il radar meteorologico non è stato soggetto a significativi periodi di fermo. I risultati numerici dell'analisi possono, quindi, essere considerati omogenei sotto il punto di vista della disponibilità dei dati.

L'analisi è stata fatta con l'algoritmo SCIT (*Storm Cell Identification and Tracking*, Johnson et al., 1998). SCIT nasce nel "National Severe Storm Laboratory" (NSSL), struttura statunitense d'eccellenza, ed è un algoritmo di rilevamento di attività convettiva. Utilizza i dati volumetrici del radar ed individua e caratterizza, in tre dimensioni, le celle temporalesche. In presenza di una linea o *cluster* di temporali, situazione che si verifica tipicamente nelle nostre zone, SCIT individua ogni singolo nucleo temporalesco.

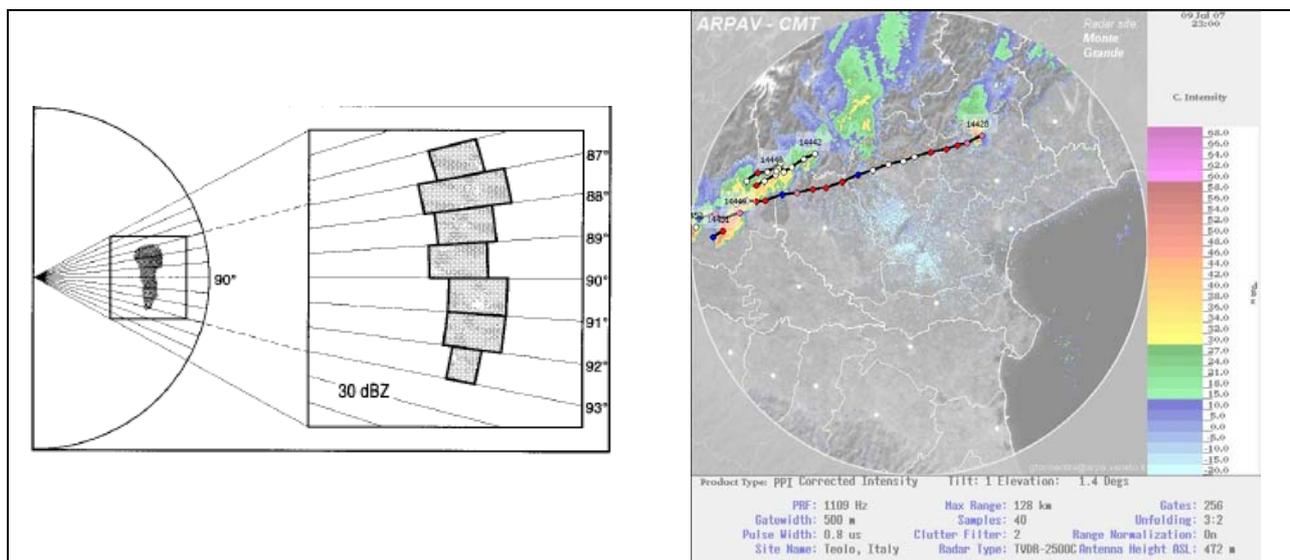


Fig. 31 - A sinistra: sezione orizzontale di un temporale visto dal radar meteorologico e analizzato dall'algoritmo SCIT (*Storm Cell Identification and Tracking*). A destra: esempio di una situazione temporalesca con l'analisi di SCIT sovrapposta ad un'immagine del radar del monte Grande.

Storm type	dBZ interval				POD total
	30-40	40-50	50-60	>60	
isolated non severe	24(197)	59(156)	X	X	39 (353)
isolated severe	32(161)	73(140)	99(139)	100(5)	67(445)
mcs-line	28(425)	69(452)	96(271)	100(6)	60(1154)
stratiform	8(112)	11(9)	X	X	8(121)
POD total	25(895)	67(757)	97(410)	100(11)	55(2073)

Fig. 32 - Risultato di verifica di SCIT su un totale di 2073 celle convettive. POD significa probabilità di rilevamento e si riferisce appunto alla capacità dell' algoritmo automatico SCIT di 'vedere' le celle convettive correttamente.

La Fig. 32 riporta il controllo della performance di SCIT; tale lavoro di verifica è stato svolto nell'ambito di una tesi di laurea triennale e di uno stage. Sono state analizzate le capacità di SCIT di rilevare correttamente, perdere o indicare erroneamente delle celle temporalesche in una serie di giornate con attività temporalesca diffusa con migliaia di celle osservate (lo stesso temporale che dura per esempio un'ora viene contato come 6 celle, visto che vi è un immagine radar ogni 10 minuti). Il risultato, in sintesi, è che SCIT rileva il 97% delle celle di forte intensità (50 dBZ) e praticamente tutte le celle di fortissima intensità. In più, SCIT non ha dato alcun falso allarme. SCIT tende a peggiorare la sua performance per le celle di minor intensità le quali, per altro, sono difficili da caratterizzare e spesso di moderato impatto in termini di precipitazione al suolo.

Risultati

Come risultato illustrativo delle capacità di SCIT, la Fig. 33 riporta il quadro complessivo dell'analisi delle celle temporalesche per il periodo maggio-settembre 2005-2009 per il dominio del radar di Monte Grande. L'immagine a sinistra mostra il conteggio totale di tutte le celle rilevate, mentre quella a destra contiene solo le celle che presentano una probabilità elevata per la grandine grossa.

Nella Fig. 34 sono riportati i conteggi delle celle temporalesche identificate in ogni singola scansione del radar di Monte Grande, cioè ogni 10 minuti, suddivise per aree che approssimativamente corrispondono alle province. Viene operata un'approssimazione descrivendo il territorio provinciale con un rettangolo e pertanto nell'analisi delle diverse province alcune celle temporalesche, localizzate in aree sovrapposte, vengono contate più di una volta (es. alcune celle contate per la provincia di Venezia, potranno anche essere contate per la provincia di Treviso). Ciò non determina un problema fondamentale in quanto nel presente lavoro si analizza l'andamento temporale per le stesse aree considerate individualmente.

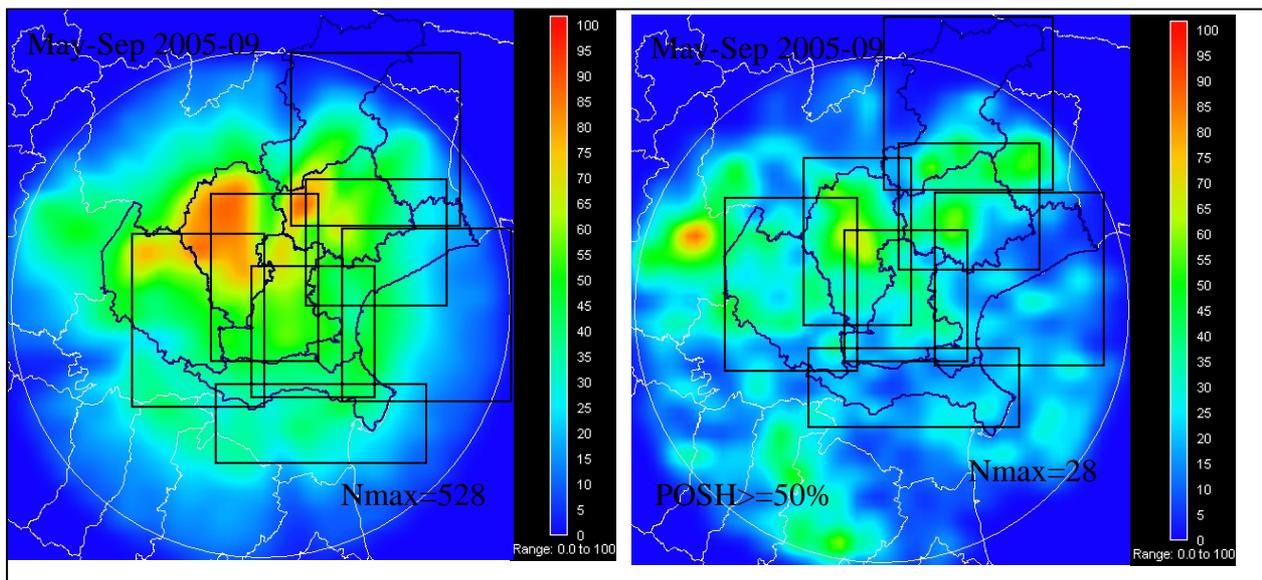
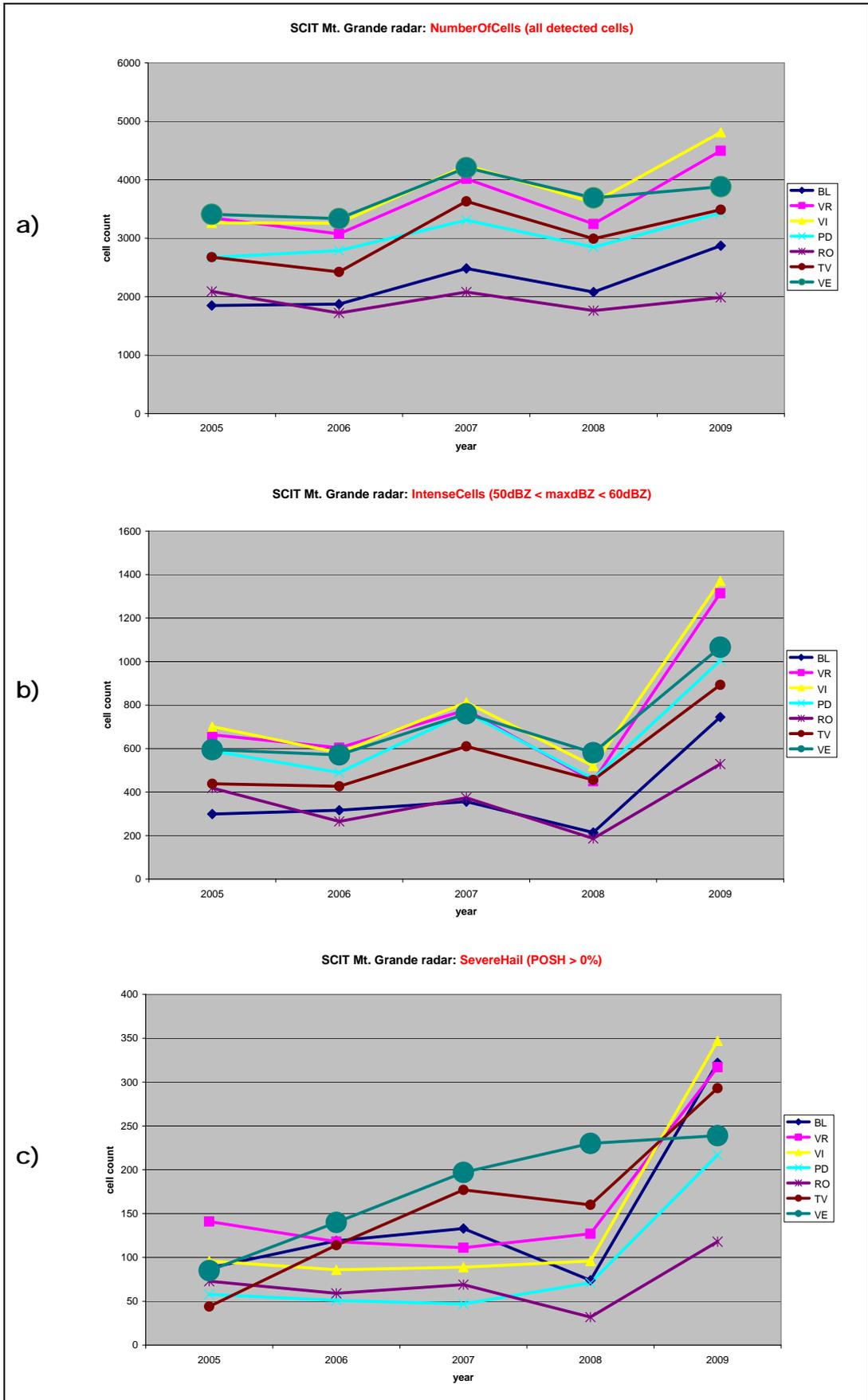


Fig. 33 - Compilazione complessiva dell'analisi sulle celle temporalesche per il periodo maggio-settembre 2005-2009 per il dominio del radar di Monte Grande. L'immagine a sinistra mostra il conteggio totale di tutte le celle rilevate, mentre quella a destra contiene solo le celle che presentano una probabilità elevata per grandine grossa. Si osservi che la scala dei colori è riferita al numero massimo (Nmax) indicato nella figura.

Nei grafici successivi, il primo in alto (Fig. 34a) riporta il numero complessivo di celle identificate, a prescindere dalla loro intensità. Si può notare che il conteggio è inferiore per Rovigo e Belluno, in quest'ultima area soprattutto per la limitata visibilità del radar di monte Grande, causata dai rilievi. Il numero di celle per anno presenti sulle aree non mostra un particolare andamento, ad esclusione di un aumento dell'attività su Verona e Vicenza nel 2009.

Se invece di considerare tutte le celle temporalesche si vanno a selezionare solo quelle intense (Fig. 34b) o quelle che addirittura hanno caratteristiche compatibili con grandine grossa (Fig. 34c), emerge che sembra esserci stato un incremento anomalo (per quanto possa essere detto esaminando solo 5 punti della serie) nel 2009, rispetto agli anni precedenti. Per quanto riguarda le celle con potenziale grandine grossa, si rileva una crescita più continua negli anni per la provincia di Venezia, ed in parte anche per quella di Treviso. Questo risultato è coerente con la percezione soggettiva che i fenomeni temporaleschi intensi siano aumentati nell'area costiera.



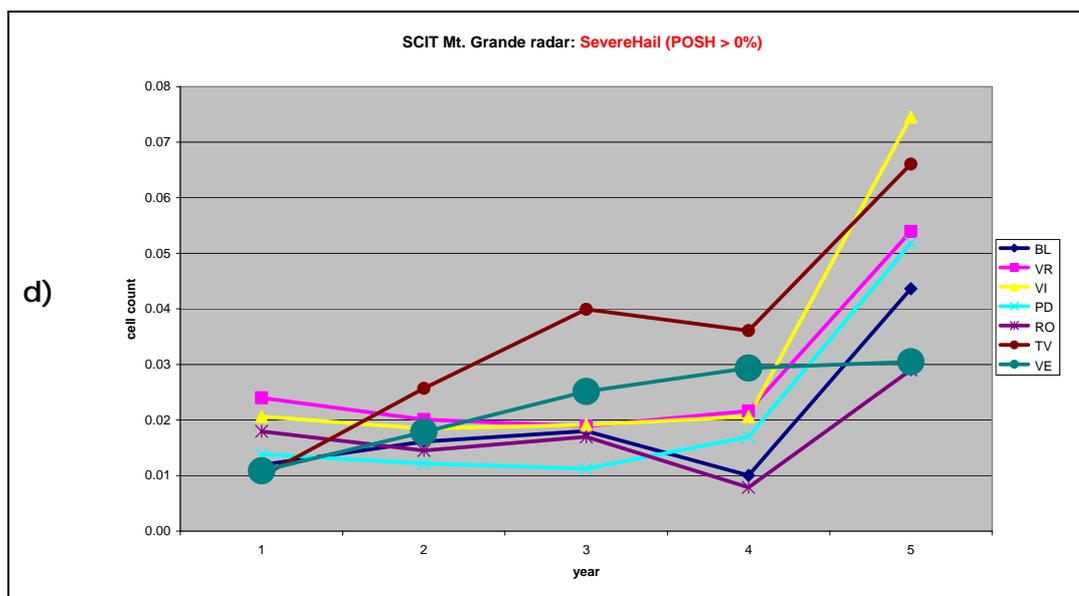


Fig. 34 - Conteggi delle celle temporalesche per il periodo maggio-settembre 2005-2009 per provincia come viste dal radar di monte Grande. In a) è riportato l'andamento del conteggio di anno in anno per tutte le celle rilevate; in b) le celle intense, definite con una massima riflettività superiore a 50 dBZ; in c) le celle che presentano una probabilità elevata per grandine grossa. In d) lo stesso dato della Fig. 34 c) ma limitato alla stagione calda e per km².

Conclusioni

Per questo studio sono state sfruttate le capacità del radar meteorologico di monitorare sistemi di precipitazione con alta definizione nel tempo e, soprattutto, nelle tre dimensioni spaziali. Questa tecnica consente di identificare in automatico la presenza di celle temporalesche nel dominio coperto dal radar, nonché di estrarne le caratteristiche salienti, quali intensità, estensione verticale, presenza di grandine, etc.

Per lo scopo specifico di questo studio sugli eventi estremi si è deciso di concentrarsi su eventi convettivi o temporaleschi. Quindi, l'analisi è stata fatta per la stagione calda, ovvero nel periodo da maggio a settembre, per i cinque anni disponibili dal 2005 al 2009. I risultati che emergono da quest'analisi possono essere riassunti come segue: il numero totale di celle rilevate non dimostra una apprezzabile variazione negli anni considerati ed è compreso fra 2000 e 5000 rilevazioni di celle temporalesche per area provinciale nella stagione calda. L'anno 2009 presenta, su tutte le province, un conteggio leggermente più alto rispetto agli anni precedenti.

Il numero di celle intense è molto inferiore rispetto al conteggio totale ed è compreso tra 200 e 800. L'anno 2009 presenta un conteggio significativamente superiore rispetto agli anni precedenti, che arriva anche a 1400.

Tale comportamento si accentua ulteriormente per le celle convettive con uno sviluppo verticale importante ed una probabilità non-nulla di grandine grossa. Per gli anni 2005-2008 il conteggio è compreso fra 50 e 150, mentre supera le 300 unità nel 2009. da rimarcare che nella zona costiera o nella pianura prossima ad essa, ovvero per le province di Venezia e Treviso, per le quali si può constatare un incremento più continuo negli ultimi cinque anni.

Come sottolineato all'inizio, i risultati qui riportati non permettono di rilevare un cambiamento significativo del clima sulla nostra regione, vista la brevità della serie temporale. Tuttavia si può riscontrare una certa conferma alla sensazione che l'attività temporalesca si sia intensificata negli ultimi anni, specie in prossimità della zona costiera. E' necessario, inoltre, considerare che l'intensità delle celle rilevate da SCIT non è direttamente correlabile ai quantitativi di precipitazione cumulata al suolo, anche per il fatto che non viene tenuta in considerazione la velocità di spostamento delle celle. Ulteriori limiti dello studio sono determinati dalla copertura radar non omogenea sull'intero territorio regionale. In particolare va rimarcato l'effetto negativo degli ostacoli orografici. Per tale motivo i conteggi delle celle temporalesche per la Provincia di Belluno sono soggetti ad una notevole sottostima.

6. RECENTI EVENTI PLUVIOMETRICI SIGNIFICATIVI IN VENETO

6.1 Alcuni eventi pluviometrici estremi registrati sulla zona costiera del Veneto negli ultimi 5 anni.

Negli anni dal 2006 al 2010 l'area costiera del Veneto e l'immediato entroterra sono stati interessati da eventi di precipitazione estremi, con quantitativi di pioggia particolarmente elevati specie se rapportati ai totali annui che caratterizzano quella porzione del territorio veneto.

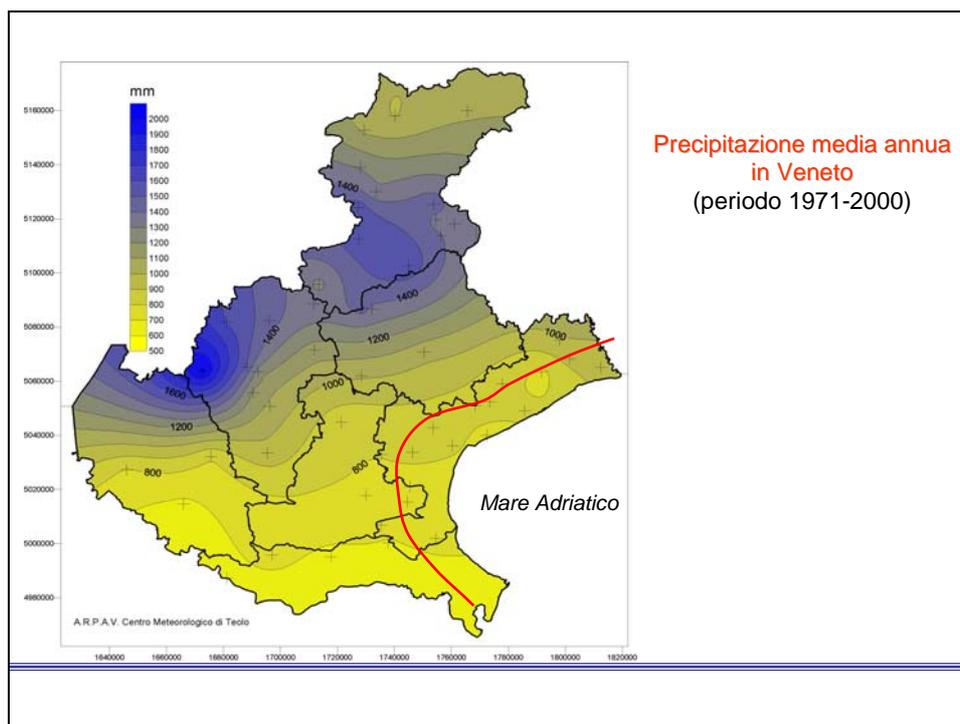


Fig. 35 - Precipitazione media annua in Veneto

Come si può veder dalla Fig. 35, l'area costiera del Veneto, assieme al Polesine, costituisce la zona della regione con la precipitazione media annua più bassa, compresa tra i 700 e i 1000 mm.

Tuttavia, come precedentemente ricordato, negli ultimi 5 anni e sempre durante il mese di settembre, si sono verificati degli eventi di particolare consistenza¹⁷; le precipitazioni, come spesso accade in queste situazioni, sono state caratterizzate da forte disomogeneità spaziale. Nelle Figg. 36, 37, 38, 39 e 40 sono riportate le precipitazioni totali che hanno caratterizzato ciascun evento in esame.

Va sottolineato che i valori qui riportati sono stati concentrati in un intervallo temporale quasi sempre inferiore alle 12 ore e talvolta la gran parte della pioggia è caduta in 6 ore.

Ne consegue che gli eventi menzionati sono stati caratterizzati anche da un'intensità di precipitazione particolarmente elevata, con evidenti pesanti ripercussioni sul territorio.

¹⁷ cfr. 9.3 Bibliografia.

Sono riportati i valori giornalieri verificatesi sulla regione rispettivamente il 17/09/06 - 26/09/07 - 13/09/08 - 16/09/09 e 24-25/09/10 (dalle ore 12 del 24 alle ore 12 del 25).

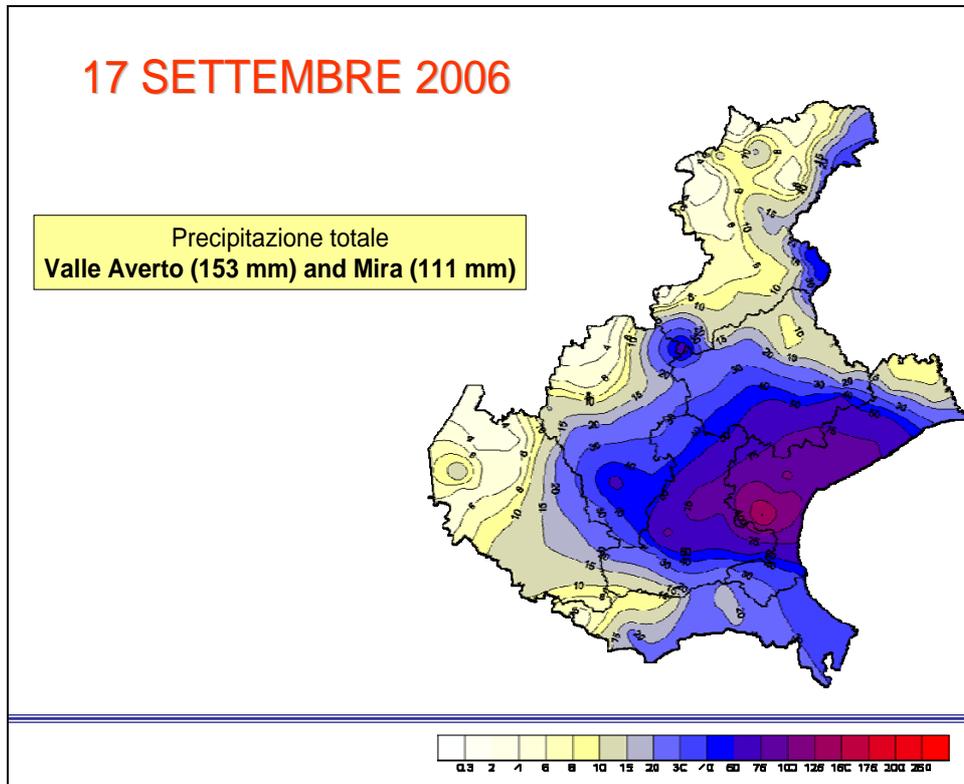


Fig. 36 - Precipitazione totale 17 settembre 2006

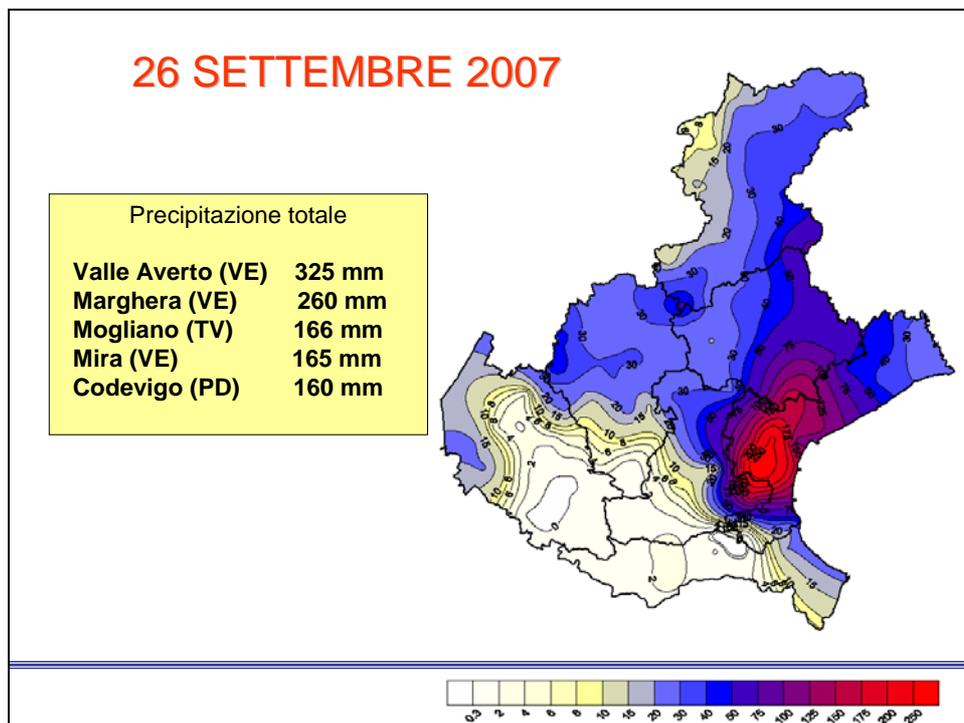


Fig. 37 - Precipitazione totale 26 settembre 2007

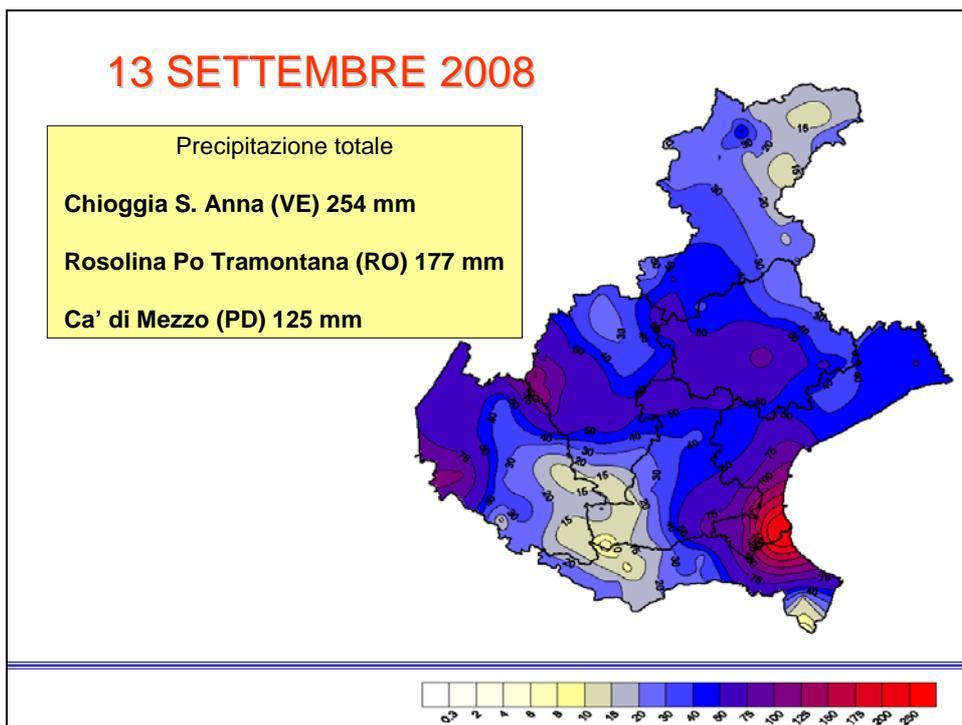


Fig. 38 - Precipitazione totale 13 settembre 2008

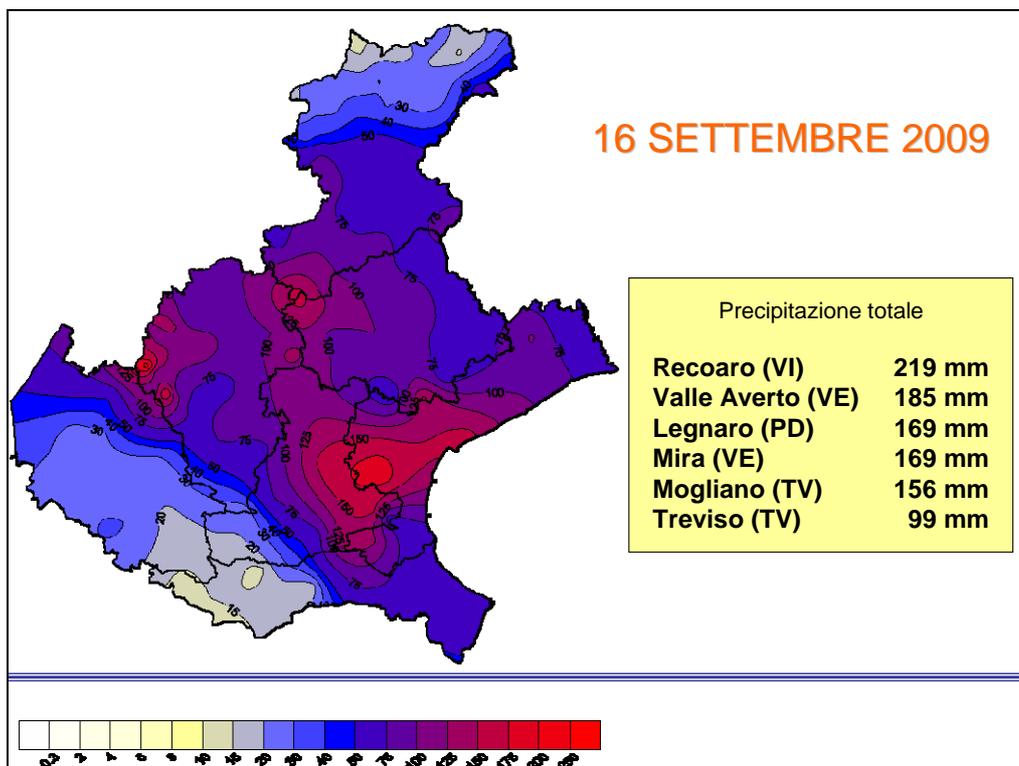


Fig. 39 - Precipitazione totale 16 settembre 2009

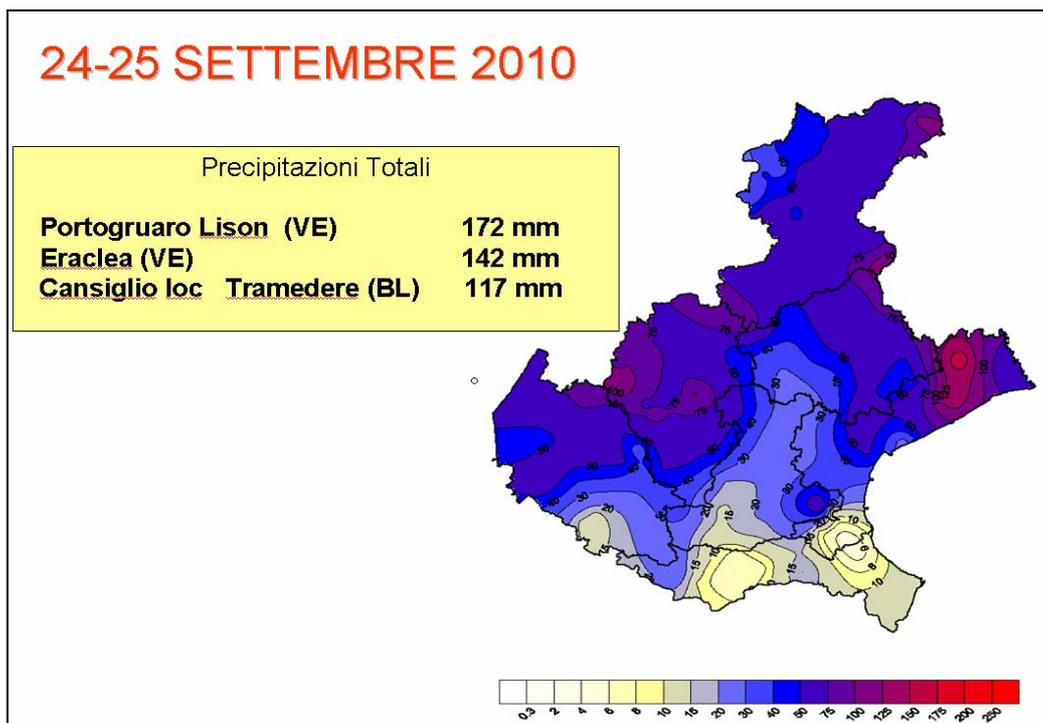


Fig. 40 - Precipitazione totale 24-25 settembre 2010

Come riportato in **Tab. 5** tali precipitazioni hanno raggiunto valori compresi all'incirca tra il 20 e il 40% del totale annuo che mediamente è stato registrato nelle medesime stazioni negli ultimi 15-20 anni.

Tab. 5: Rapporto percentuale tra precipitazione di un singolo evento e pioggia media annua

Stazione	Data	Precipitazione in 12 h (mm)	Precipitazione media annua (mm) (1993-2009)	Rapporto P ₁₂ / Media annua (%)
Valle Averso	26/09/2007	322	795	41
Mestre - Marghera	26/09/2007	258	700	37
Chioggia - S. Anna	13/09/2008	254	790	32
Valle Averso	16/09/2009	163	795	20
Mira	16/09/2009	152	866	18

Il ripetersi di eventi estremi a distanza così ravvicinata è presumibilmente connesso alla contemporanea presenza di una serie di concause. In particolare sono stati evidenziati i seguenti "precursori":

1. configurazione meteorologica a grande scala caratterizzata da un' area di bassa pressione in avvicinamento con correnti caldo umide meridionali sul Veneto;
2. importante ruolo del mare che in settembre risulta ancora caldo e costituisce quindi un importante fonte di energia ;
3. persistenza di un'alta pressione di origine africana con temperature e umidità superiore al normale nei giorni precedenti l'evento di interesse;
4. presenza di venti convergenti proprio nell'area costiera.

A titolo di esempio in **Fig. 41** è riportata la distribuzione dei venti al suolo relativa alle ore 6 UTC del 26 settembre 2007. Si noti che i venti sulle stazioni costiere spirano da sud-est con contributo di aria caldo umida proveniente dall'Alto Adriatico. Sull'entroterra invece il vento proviene da nord-est. Ciò determina nell'area evidenziata dalla linea rossa una convergenza dei venti, condizione assai favorevole ai fenomeni temporaleschi.

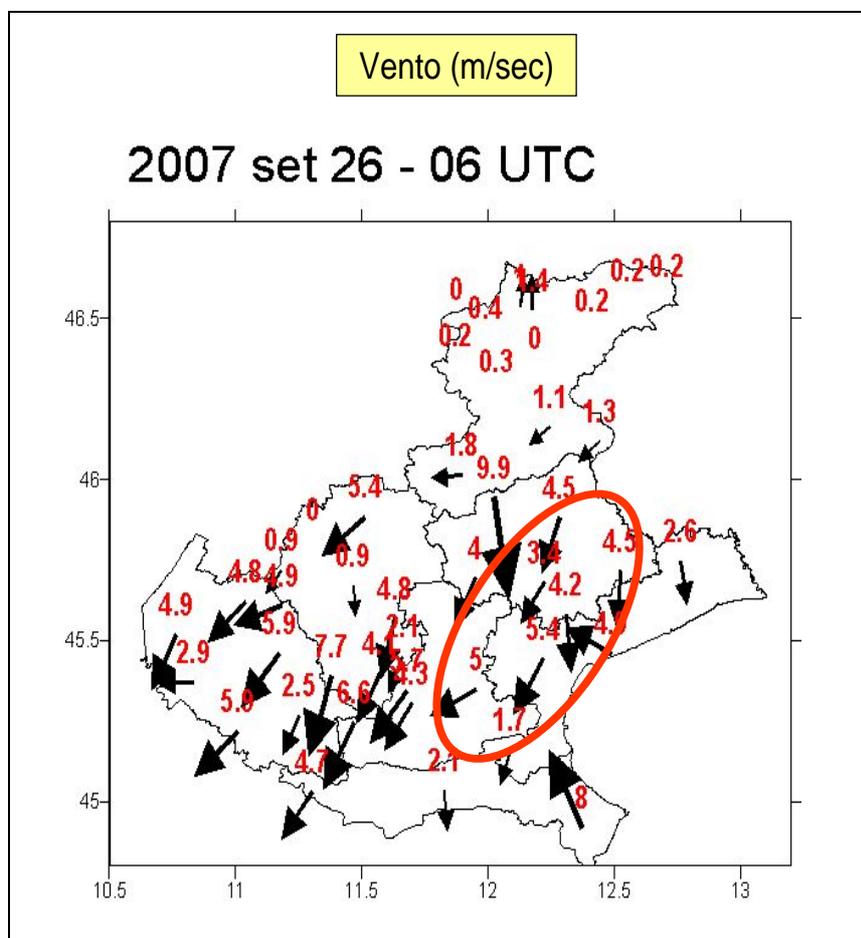


Fig. 41 - Distribuzione dei venti al suolo rilevata dalla rete di telemisura

L'analisi dettagliata e l'individuazione dei citati precursori è finalizzata ad una miglior comprensione dei fenomeni e quindi ad una miglior prevedibilità degli stessi.

6.2 Evento pluviometrico intenso del 3 Agosto 2008 a Feltre (BL)

Situazione sinottica

Durante la stagione calda (estate), quando le condizioni dinamiche consentono il verificarsi di episodi d'instabilità legate al transito di saccature o al passaggio di gocce fredde (depressioni in quota), anche senza sistemi frontali (fronte freddo), il tempo sulle Alpi orientali può riservare qualche episodio di forte intensità non sempre prevedibile. Ad esempio il 3 Agosto 2009 una veloce saccatura giunge da Ovest sulle Alpi orientali, le immagini Meteosat mostrano il sistema nuvoloso associato alla suddetta saccatura, assieme alle varie celle temporalesche (**Fig. 42** colore rosso) sul Nord-Est dell' Italia nel pomeriggio del 3 Agosto. In

corrispondenza di un flusso meridionale, la previsione diventa ancora più delicata con due aree distinte. Il primo settore corrisponde alle Dolomiti ed il secondo alle Prealpi. A poca distanza si possono verificare importanti differenze, perché la stessa struttura atmosferica può creare fenomeni localmente molto intensi, mentre altrove non succede nulla o quasi. Il terreno, il processo convettivo, il sollevamento orografico, le convergenze, sia orografiche che dinamiche, e la presenza o meno di *low level jet*¹⁸ sono tutte variabili da considerare per poter valutare nel modo più efficace e pertinente il rischio di fenomeni intensi in un quadro sinottico di per sé non particolarmente preoccupante.

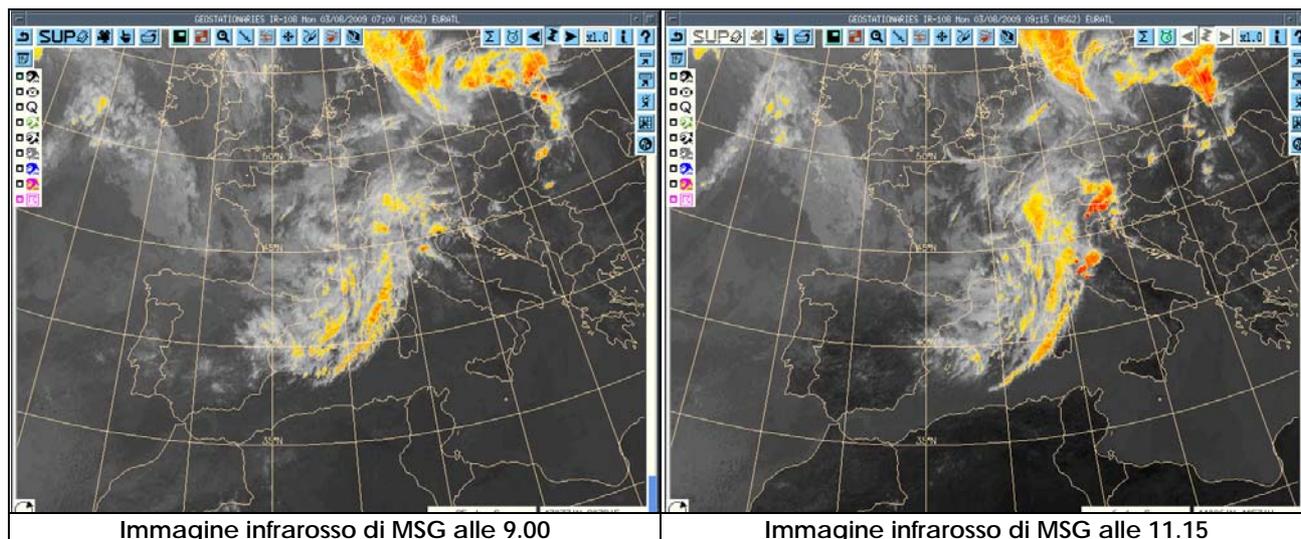


Fig. 42 - Immagini da satellite del giorno 3 Agosto 2009.

Situazione sulla montagna veneta

Il 3 Agosto 2009 il passaggio della saccatura di origine atlantica sulle Alpi venete provoca un episodio d'instabilità con temporali piuttosto diffusi, ma generalmente di moderata intensità. In questo quadro generale d'instabilità contenuta, si sviluppa in prossimità della località di Feltre, una cella con caratteristiche ben diverse. Si tratta di una cella convettiva detta autorigenata, responsabile di piogge eccezionali: 177 mm in circa 2 ore e mezza e più di 200 mm in 4 ore. Si vede sui grafici (Fig. 43) quanto la stessa struttura dinamica in quota possa generare effetti molto diversi a scala regionale.

¹⁸ vento particolarmente intenso a bassa quota.

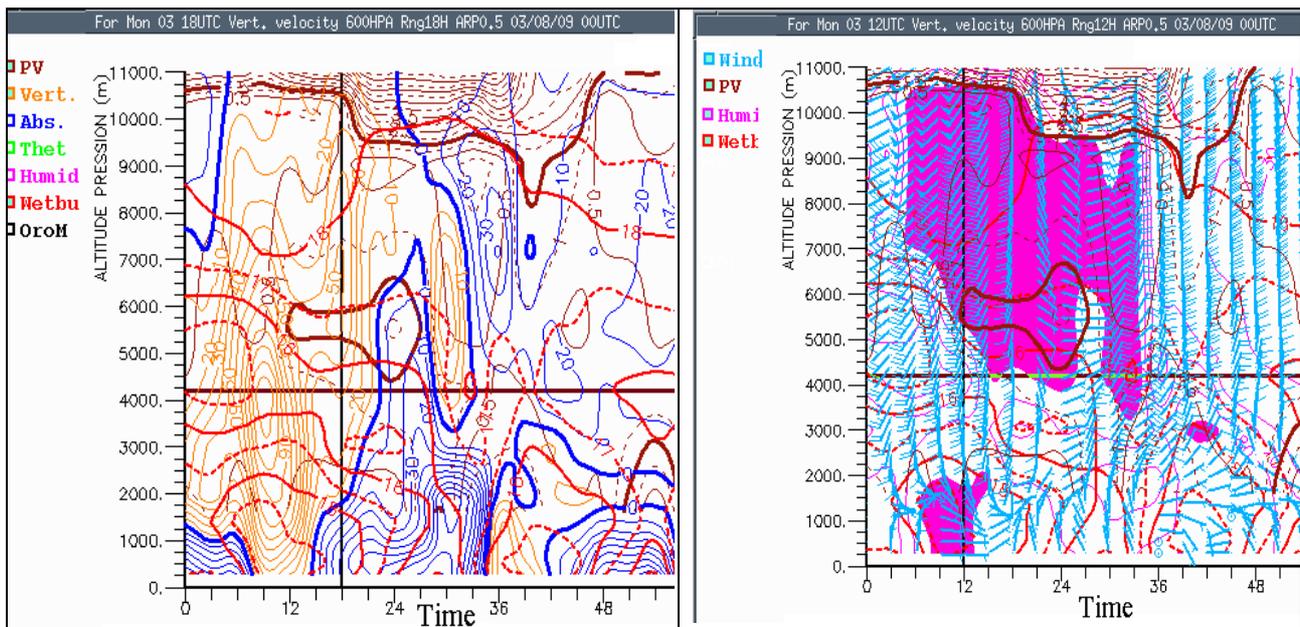


Fig. 43 - Diagrammi di *Hovmoller* previsti da modello, sulle Alpi Venete relativi ai giorni 3-4 Agosto 2009.

I diagrammi di *Hovmoller* presentano (nella parte sinistra) il profilo verticale dell'atmosfera sulle Alpi venete, si vedono forti moti verticali (linee arancione), e la presenza di un gradiente verticale di T^w (temperatura pseudo-potenziale del bulbo bagnato - linee rosse). Nella parte destra sono presenti i campi d'umidità relativa (colore viola) ed i venti (velocità e direzione del vento). La struttura verticale osservata in prossimità di Feltre è pressoché la stessa su tutte le Alpi venete, ma gli effetti sono assai dissimili con rovesci temporaleschi non particolarmente violenti su gran parte del territorio, mentre le piogge si rivelano molto intense sul feltrino. Il quadro sinottico visto dal modello globale non è in grado di fornire informazioni sugli effetti locali. Pur conoscendo le condizioni iniziali, il previsore non avendo fattori dinamici particolarmente allarmanti, non può razionalmente ipotizzare il rischio di quelle che sta per succedere. Inoltre le carte di precipitazioni per quel giorno danno quantitativi inesatti (le carte indicano massimi di 5 mm/6h per il pomeriggio del 3 agosto 2009).

Quadro pluviometrico

La carta seguente (Fig. 44) mostra la distribuzione e le quantità di precipitazioni osservate nel pomeriggio del 3 Agosto 2009 con 211 mm sulla Stazione di Feltre, di cui 177 mm in sole due ore, mentre su molti altri settori non vengono superati i 30/50 mm/4-6h. (il modello prevedeva massimi di 5 mm sulle Alpi venete). In montagna, gli eventi piovosi mostrano generalmente una certa eterogeneità delle precipitazioni a micro-scala, ma differenze così marcate sono il frutto di fenomeni particolari, la cui previsione rimane tuttora quasi impossibile, in quanto la formazione di una cella convettiva autorigenerata non è identificabile sui modelli a disposizione. Si possono tuttalpiù individuare delle strutture sinottiche a scala regionale, suscettibili di dar vita a situazioni propizie, ma senza poter precisare il luogo dove potrà verificarsi il fenomeno e stimare la sua intensità.

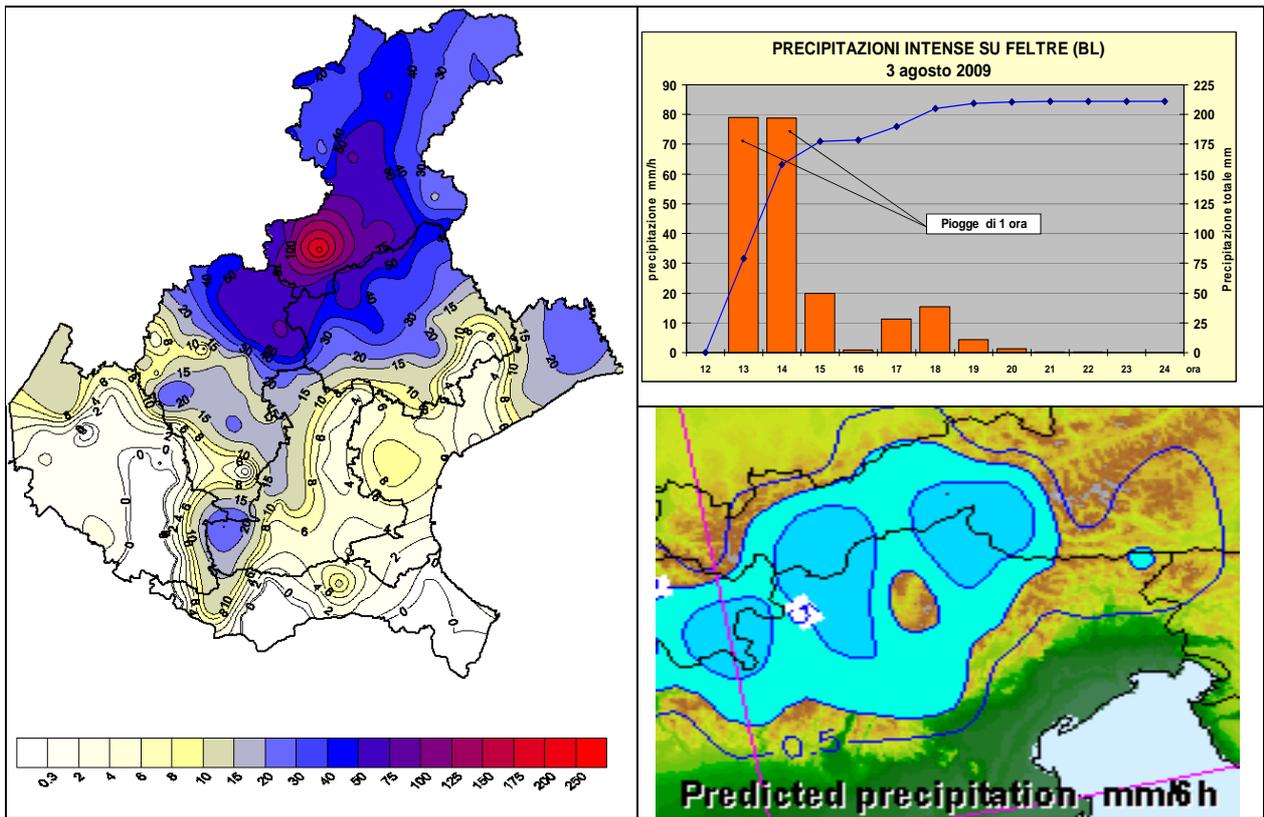


Fig. 44 - A sinistra precipitazioni totali del giorno 3 Agosto 2009 in Veneto. In alto a destra diagramma della precipitazione oraria e relativa cumulata registrata a Feltre il 3 Agosto 2009. In basso a destra campo di precipitazione cumulata in 6 ore previsto da modello nella area del Triveneto per il 3 Agosto 2009.

L'episodio rappresenta il fenomeno precipitativo più intenso mai misurato sulla stazione ARPAV di Feltre da quando questa è attiva (1996).

7. ALTRI FENOMENI METEOROLOGICI ESTREMI

Oltre alle piogge intense (quantitativi concentrati in brevi intervalli di tempo) e a quelle abbondanti (quantitativi significativi su base giornaliera) che sono stati analizzate nei precedenti capitoli, esistono altri fenomeni meteorologici estremi che possono avere un impatto rilevante sulla sicurezza di cose e/o persone e sulle attività umane:

- ▶ grandine;
- ▶ forti raffiche di vento;
- ▶ trombe d'aria;

che sono per lo più associati a fenomeni temporaleschi.

Episodi storici

Le fenomenologie di questi eventi sono osservate da tempo immemorabile, ma le prime descrizioni scientifico-geografiche per quanto riguarda la nostra regione ed il nord Italia si ritrovano nelle memorie che alcuni studiosi ed osservatori presentavano nelle accademie sette-ottocentesche.

Non erano allora disponibili strumenti di analisi e di previsione di cui disponiamo oggi, ma certamente quelle rilevazioni o cronache sono utili in senso geo-meteorologico per scoprire e capire se esistono relazioni più o meno evidenti fra i luoghi delle manifestazioni e gli andamenti macro e mesoclimatici.

Si riportano qui di seguito alcuni estratti dalle cronache di allora, esemplificativi della volontà testimoniale di descrivere episodi che oltrepassavano senz'altro i parametri della "normalità" comunemente intesi, sia per i fenomeni in sé che per i risvolti economici e sociali causati.

La grandine

[Dagli ANNALI DELLE PROVINCE VENETE dall'anno 1801 al 1840 di Fabio Mutinelli - LIBRO II SEC. XIX pag. 272 - 273,]

...

Collo sconvolgimento degli umani intelletti meravigliosamente andando d'accordo anche lo sconvolgimento della natura, continuarono le procelle e i vorticosi venti nella state seguente. Era il nove giugno (1822 n.d.r.), quando sopra un territorio di venti e più miglia quadrate, posto nel mezzo della destra linea del fiume Tagliamento, e reso fecondo con immense cure ed incalcolabili spese, addensavansi, alle ore tre dopo il mezzo giorno, folte e torbide nubi dalla parte di oriente, ascoltandosi con raccapriccio un mormorio cupo e prolungato, che via via andava crescendo, nunzio certamente spaventevole di estreme sciagure. Alle quattro, nuove nubi lividissime, contornale da biancastra orlatura, aggruppavansi, estendevansi, accavallavansi, mentre volumi immensi di altre candidissime, bassissime percorrendo con rapido parabolico moto l'estremità del cielo che soprastava alla contrada infelice, giugnevano, finalmente, a collocarsi nel centro di lui. Scoppiò allora la bufera, e cadde grandine, grossa prima come ciliege, poi come noci, indi come ova, da ultimo (cosa che si stenterebbe a credere se testimonii di veduta non ne avessero fatto fede) come palle da cannone da tre, sferica, tornita, durissima, che precipitandosi con forza immensa, in luogo di frangersi sopra il sasso, a grande lontananza rimbalzava. Quindi, con infinita pietà, dei frumenti nè men trovaronsi le paglie, perchè fitte e sepolte entro la terra;

perduti erano i fieni, perchè pertugiata ed aperta dai terribili colpi la superficie dei prati; rendute infruttuose per più anni le viti; in somma gli alberi di ogni specie sfrondati, scortecciati, troncati mostravano di quella, poche ore prima ridentissima, campagna l'aspetto vero di una selva ad incendio vasto sopravanzata. Perseverando natura nella sua ira, tre giorni appresso nel furore di altra tempesta cadeva il fulmine sopra la cupola della cattedrale di Padova. Di due sacerdoti, che oravano nell'abside, uno rimaneva morto, tramortito l'altro; la cupola poi, già rivestita di piombo, tutta ardeva, e per la violenza delle fiamme liquefacendosi il metallo, scagliato e sparpagliato era a guisa di pioggia cacciata da impetuoso vento.

....

Il temporale

[Dagli ANNALI DELLE PROVINCE VENETE dall'anno 1801 al 1840 di Fabio Mutinelli - LIBRO II SEC. XIX pag. 273 - 274,]

...

Venezia però provar doveva i maggiori effetti di quella conturbata natura. La mattina del giorno di san Giovanni Battista (24 giugno 1822 n.d.r.) sorse il sole con luce splendidissima, ed era scarico di nubi il cielo; per la qual cosa non pochi Veneziani, profittar volendo di quella festa, di quella serenità e di quella calma, abbandonarono le viette della città eccessivamente accese per uno straordinario calore di venti giorni, affine di recarsi a godere nelle isolette propinque e nella terraferma il diletto delle fresche ombre, delle macchie e dei pergolati. Or, non essendo di molto lontane le ore 7 Va del dopo pranzo, segnando il termometro oltre 22 gradi di Reaumur, 28 il barometro, appariva dalla parte di settentrione una caterva di nugoloni, altra se ne scorgeva dal lato di maestro e di greco, e nubi quelle erano livide, rosse, giallognole, verdi, bianche, di un colore infine, che niuno sapea ricordarsi di aver veduto in cielo l'uguale. A quel terribile celeste aspetto consenzienti ben presto le conseguenze, un muggito orrendo si udì; già fremevano le onde, e a quel fremito si aggiungeva un soffiare di vento furiosissimo, e tuoni spaventosi, e oscurissima notte, e quella notte non da altro diradata che da baleni tristissimi, e un diretto piovere a scrollo ed a scroscio, e un cader di grandine, del peso d'oltre una libbra, di maniera che propriamente sembrava natura sfasciar si volesse, e che pensiero ed animo deliberato avesse alla distruzione della infelice città. Furibonde quindi le acque, furibondo il cielo, furibondo l'aere, molti navigli che stavano dirimpetto alla Piazzetta, fra loro, sopra i ferri arando, conquassavansi, si sfracellavano, molte barchette e gondole, che riconducevano a Venezia dal fatale sollazzo i cittadini, nella lacuna aprivansi o si rompevano; molti di quei cittadini ingoiati erano dai flutti, altri che a nuoto, o dalle stesse onde sospinti, guadagnato pur avevano alcun lito, pesti e laceri rimanean nelle mani e nel capo per la gragnuola rabbiosissima. Incartocciate intanto e divelte dalle cupole di alcune chiese, e dai tetti delle fabbriche più cospicue le pesanti piastre di piombo volavano quasi peluria, in un a mille e a mille tegole, stranamente per l'aria; pressochè tutti precipitavano i fumaiuoli, niun vetro era salvo, laonde anche i più saldi e i più recenti edifizii presentavano con grande pietà la immagine della distruzione. Ed io stesso (pieno allora di gioventù, di conforti e di speranze, il medesimo officio sostenendo che or incanutito e sfidato dopo tanti anni tuttavia sostengo) io stesso addetto ad una Commissione istituita a riordinare gli archivii della Repubblica, e a collocarli nello spazioso convento degli antichi frati di Santa Maria Gloriosa dei Frari, che a ciò con grande munificenza si stava adattando, io

stesso vidi nel seguente dì, rovinate da quella furia molte delle belle opere che fatto ivi si avevano, e perciò di ristoro novello bisognosa come prima la fabbrica amplissima. Raccontati questi miserabili casi, nell' esame dei quali trovar può il filosofo argomento alle sue meditazioni, volentieri le parole di un sommo ripeteremo: » Chi può mai col pensiero comprender ciò che succede nell'immenso grembo di Dio! Veramente piccoli ed abbietti bacherozzoli noi siamo». (1)

...

(1) Gazzetta Privilegiata di Venezia, N. 151, 133, e 141 del 1822

L'episodio qui sopra descritto deve essersi manifestato con carattere di sicura eccezionalità e veemenza se ha ottenuto l'attenzione di un altro descrittore autorevole, al tempo Segretario dell'Ateneo Veneto, che ne riporta alcune caratteristiche in una sua memoria dedicata all'idea-progetto del ponte translagunare che doveva collegare Venezia alla terraferma.

[Dalla Memoria di Luigi Casarini "Sulla origine ingrandimento e decadenza del commercio di Venezia" letta all' Ateneo Veneto nella seduta del 25 luglio 1822. pagg. 65-66]

...

Ma discendendo dalle vedute importanti di pubblica economia a quelle non meno sacre ed interessanti della umanità, la vagheggiata proposta servirebbe soprattutto a menomare almeno le conseguenze tristissime delle burrasche, solite dominare nella nostra laguna, e delle quali avemmo un funesto saggio nel dì di s.Giovanni trascorso (il 24 giugno 1822, n.d.r.), in quel giorno fatale che il finimondo annunziava, e che poco mancò a me pur non costasse la perdita di un'amata sorella.

Masse immense di nubi pregne oltre modo di elettricità, si trasformarono in tinfoni ed in turbini, che, gioco di opposti venti, rovesciarono i Vascelli, e sulle coste li spinsero, r avvolsero in vorticosi gironi le minute barche , per poi sprofondarle nei flutti, e desertarono, a grossa grandine uniti, le più ubertose nostre vigne , e fra il rodente fremer di quella, il muggito dei tuoni, il fracasso delle barche cozzanti, e le grida degli agonizzanti e dei naufraghi, ingombrarono la laguna di sformati cadaveri, de' quali i venti, le acque e la grandine si avean contrastata la morte .

Videsi allora, per taper di molti altri, un misero padre (1), vicino ad afferrar la palude, pendere incerto quale dei due figli abbandonare dovesse, per poter col nuoto serbare all'altro ed a se stesso la vita, e perderla intanto con gli oggetti della sua tenerezza, vittime tutti di questa orrenda perplessità: un altro che giunto a terra dalla barca spezzata (2) tornò a lanciarsi nei flutti per salvare la figlia , o per avere almeno con essa in quelli, come l'ebbe, la tomba: ed un giovane interessante (3), che, lasciati i ridenti colli natii per invitare all' ara il pronubo delle sospirate sue nozze, dovette nell' onde, che amore a sfidar l'avea tratto, perdere acerbamente la vita.

...

(1) Giuseppe Moretto d'anni 32, due figli, Andrea d'anni 9, e Pietro d'anni sette e mezzo. (2) Giovanni Giacobbe d'anni 56, ed una figlia d'anni 18. (3) Pietro Brunello di Monselice d'anni 29.

L'alluvione

[Dagli ANNALI DELLE PROVINCE VENETE dall'anno 1801 al 1840 di Fabio Mutinelli - LIBRO II SEC. XIX pag. 294 - 295,]

Alluvione del 1823

...

Consumati i politici maneggi (visita dell'imperatore d'Austria, dello Zar di Russia e del re di Napoli; n.d.r.), rinnovate si videro sul finire di ottobre del susseguente anno (1823) le inondazioni per effetto di continue e dirotte piogge, di australi venti e del flusso del mare fattosi più sensibile per la vicinanza del plenilunio, e il Po, l'Adige, il Brenta, il Bacchiglione, il Frassinè e il Piave, e con essi tutti gli altri minori fiumi e canali, da cui sono intramezzate le province, superarono le più grandi escrescenze di cui serbata si avesse memoria. Soperchiati quindi le acque in più luoghi gli argini, o apertosi da esse un varco, faceansi a dilagar le campagne, recando danni gravissimi, oltreché alle campagne stesse, ai ponti ed alle vie (1).

...

(1) Gazzetta Privilegiata di Venezia, N. 238 del 1823

[Dagli ANNALI DELLE PROVINCE VENETE dall'anno 1801 al 1840 di Fabio Mutinelli - LIBRO II SEC. XIX pag. 303 - 304,]

Alluvione del 1825 e inondazione di Venezia

...

Viva ancora negli uomini la memoria dei mali, di cui due anni innanzi erano state cagione le acque, visibili ancora i terribili segni, con altre non meno fiere calamità, fra l'autunno e l'inverno di quell'anno (1825, n.d.r.), giugnevano esse ad affliggere le province. Cominciato avendo a soffiare, come al solito, stemperato e insistente al monte e al mare lo scilocco, ed avendo per compagne continue e strabocchevoli piogge, in un punto, rapidamente, eccessivamente tutti i fiumi e i torrenti gonfiarono. Il Piave a Zenson, il Brenta a Bassano superarono le maggiori piene; squarciò il Brenta a Vigodarzere e alla svolta di Giacchetto, le arginature, squarciolle, a Strà, il canal Piovego in due siti; il Bacchiglione in tre, a Saccolongo, a Trambacche e a Tencarola. Allagava intanto il canale di Monselice tutta la campagna opposta ai poggi Euganei e alla marina rivolta; indomiti si mostravano il Tesina, il Timonchio, l'Astico, il Cereson e l'Alpone; le acque del Musone giugneano ad inondare fin la borgata di Mestre, e, abbattendo l'argine che d'ivi poco lunge divide la terraferma dalla lacuna, andavano a congiungersi colle salse, di maniera che torbide e dolcigne le onde stesse, che cingono e intersecano Venezia, improvvisamente diventarono. Furiando poi, a' dì nove dicembre, più che più violenta la tempesta, apertosi l'irato mare ben quattro varchi nei liti di Malamocco, vedea Venezia soverchiate dalla marea le sue sponde, allagata la piazza e pressoché tutte le sue contrade, mentre Padova, Vicenza e Verona, similmente e miserabilmente erano inondate d'altre acque. Tristi e dolenti gli uomini volgevasi a Dio sommo affinché a ripetersi non avessero così di frequente tanto crudi flagelli.

...



Fig. 45 - Alcune immagini delle conseguenze del pericoloso evento di *downburst*¹⁹ registrato a Mestre il 15 giugno 2007 che ha causato il ferimento di almeno 30 persone.

Anche per quanto riguarda il vento, una serie di episodi (Tab. 6) verificatatisi negli ultimi anni sul territorio regionale ha reso quanto mai attuale l'esigenza di interrogarsi sulla frequenza e ripetitività di tali eventi, per capire se sta aumentando e per eventualmente adeguare le misure necessarie a fronteggiare tali fenomeni.

Tab. 6: Recenti eventi meteo caratterizzati dal grande impatto del vento.

15 giugno 2007	vento molto forte a Venezia, in località San Giuliano nel mentre si svolgeva un concerto all'aperto (Fig. 45)
9 luglio 2007	tromba d'aria sull'Alpago, (BL)
6 luglio 2008	tromba d'aria a Salboro (PD) (Fig. 46)
6 giugno 2009	tromba d'aria a Vallà di Riese Pio X (TV)
23 luglio 2010	venti molto forti con possibile tromba d'aria a Montegrotto Terme (PD) e Pellestrina (VE)

¹⁹ colonna d'aria fredda e umida che impatta in rapida discesa al suolo più o meno verticalmente e che si espande orizzontalmente divergendo in tutte le direzioni inducendo spesso vortici che si sviluppano con venti molto ravvicinati di elevata velocità e direzioni opposte.

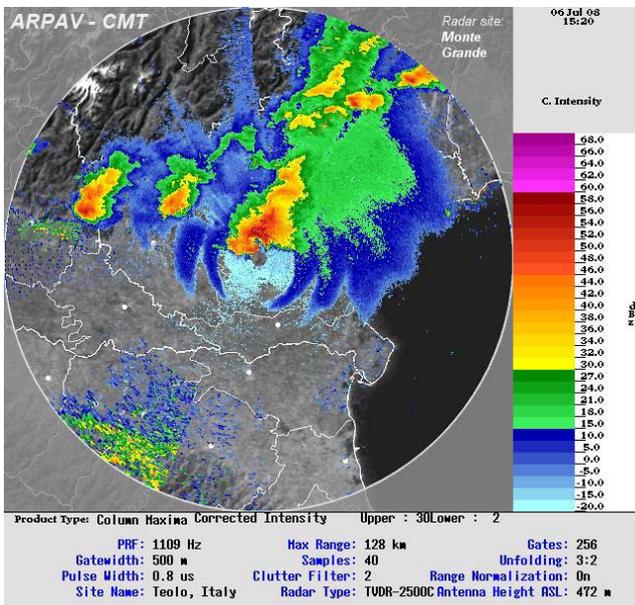


Fig. 46 - (In alto) Impressionante evoluzione della cella tornadica sviluppata a Salboro (PD) (Foto di Alberto Gobbi) il 6 luglio 2008 con il corrispettivo riscontro del radar di Teolo (in basso a sx); (in basso a dx) un'immagine di alcuni danni arrecati dalla tromba d'aria (Foto di Alberto Gobbi);

Problematiche di rilevazione e analisi

Forti raffiche di vento, trombe d'aria, grandine sono tutti fenomeni che, ancor più della precipitazione, risultano estremamente localizzati e con fortissimi gradienti spaziali, nel senso che a brevissima distanza si può avere un fenomeno molto intenso o la totale assenza del fenomeno stesso.

Per questo motivo è del tutto evidente la difficoltà, e in certi casi l'impossibilità, di un rilevamento diretto attraverso la strumentazione meteo tradizionale (centraline meteorologiche).

Una modalità di rilevamento può essere costituita dall'osservazione diretta e dalla analisi dei danni prodotti: questo implica la presenza di osservatori preparati e di criteri codificati per rilevare i danni. E' inoltre indispensabile la

costituzione di un sistema informatizzato e centralizzato per la raccolta di tali dati, in modo da creare una base dati storica per l'analisi statistica dei fenomeni. Tale base dati non è attualmente presente.

Una modalità di rilevamento indiretto è resa possibile dal fatto che tali fenomeni sono in genere associati a celle temporalesche intense, che possono essere monitorate attraverso strumentazione meteo specialistica in *remote sensing* (radar meteorologico e in parte satellite meteorologico). Il vantaggio di tali strumenti è legato al fatto che il loro rilevamento sul territorio è di tipo continuo, e quindi possono essere individuate anche singole celle temporalesche che spesso sfuggono al rilevamento spazialmente discontinuo della rete di stazioni. Lo svantaggio è che attraverso questi strumenti si possono avere solo informazioni indirette sulla possibile presenza dei fenomeni in questione.

Per quanto riguarda il radar in particolare, in base all'analisi delle caratteristiche del segnale e delle celle temporalesche si possono ricavare indicazioni probabilistiche o qualitative sulla possibilità di accadimento dei fenomeni sopra citati. Si segnala comunque che la risoluzione dello strumento è dell'ordine del chilometro, pertanto il rilevamento "diretto" di fenomeni con una scala spaziale inferiore risulta impossibile.

Grandine

La grandine si genera all'interno di celle temporalesche caratterizzate in genere da uno sviluppo verticale marcato. La dimensione dei chicchi infatti è strettamente correlata all'intensità delle correnti ascendenti che permettono il meccanismo di accrescimento del chicco stesso. Le dimensioni medie dei chicchi di grandine vanno da 5 mm a diversi centimetri di diametro.

All'interno di un temporale grandinigeno, la grandine in genere interessa delle zone assai ridotte spazialmente, con una distribuzione dei danni in fasce ristrette (qualche centinaia di metri) a fianco di zone non interessate dal fenomeno.

L'analisi dei dati radar permette di evidenziare celle potenzialmente grandinigene (in base all'intensità del segnale, allo sviluppo in altezza della cella, alla quota dello zero termico – livello al quale la temperatura passa da positiva a negativa, ecc.) e di stimare, in base a specifici algoritmi, una probabilità di grandine e una probabilità di grandine di dimensioni significative (diametro maggiore di 2 cm).

Il trattamento sistematico su base statistica di tali informazioni per un periodo di diversi anni richiede una specifica e laboriosa indagine.

Forti raffiche di vento

Le raffiche di vento potenzialmente più pericolose sono legate alle correnti discendenti di una cella temporalesca (*downburst*). L'intensità di tali raffiche può raggiungere anche i 200-250 km/h, con conseguenti danni significativi al punto che spesso vengono impropriamente confuse con le trombe d'aria.

Le correnti discendenti sono legate allo sviluppo e alla struttura della cella temporalesca, pertanto il radar meteorologico può fornire indicazioni solo indirette in merito al fenomeno.

La discriminazione tra tromba d'aria e *downburst* spesso può essere fatta solo in base all'analisi della tipologia dei danni.

Va infine segnalato che in certi casi forti raffiche di vento possono essere associate a fenomeni non temporaleschi: è ad esempio il caso delle raffiche di *Foehn* (o *Föhn*, *Favonio*) – vento secco e “caldo” che in particolari situazioni interessa principalmente le valli montane o le zone pedemontane, – o delle raffiche di Bora.

Trombe d'aria.

La tromba d'aria o tornado è costituito da un intenso vortice che collega la base di una nube temporalesca al suolo (cfr. foto di copertina), dove determina venti molto forti (fino a 500 km/h) con andamento rotatorio

Le dimensioni del vortice possono variare da pochi metri a qualche km (nel caso di alcuni tornado che si verificano nel Nord America). Sulla nostra regione le dimensioni tipiche sono dell'ordine di qualche decina di metri e la tromba d'aria può percorrere distanze comprese tra poche decine di metri e qualche decina di chilometri.

Va sottolineato che per poter parlare di tromba d'aria non basta la presenza di venti molto forti, ma è necessario che vi sia un andamento rotatorio degli stessi (vortice).

Una stima dell'intensità della tromba d'aria può essere fatta sulla base dei danni prodotti, in quanto il rilevamento diretto da centraline meteo risulta praticamente impossibile viste le dimensioni del fenomeno e la sua intensità. A tale proposito è in uso la scala *Fujita*, che suddivide le trombe d'aria in varie classi (F0-F5).

L'occorrenza di una tromba d'aria è legata alla presenza di fenomeni temporaleschi con particolari caratteristiche (in genere supercelle). Pertanto il radar meteorologico, pur non individuando direttamente il vortice, può fornire informazioni sulla presenza o meno di alcune caratteristiche necessarie (ma non sempre sufficiente) al verificarsi del fenomeno.

L'analisi dei segnali radar per l'individuazione di condizioni compatibili con la presenza di trombe d'aria risulta assai complessa e difficilmente automatizzabile; è richiesta pertanto una analisi caso per caso.

L'analisi statistico-climatologica del fenomeno è particolarmente ardua per la mancanza di un data base che contenga le segnalazioni delle trombe d'aria effettivamente verificatisi e classificate come tali, nonché una stima della loro intensità.

I problemi legati alla creazione di un data base affidabile delle trombe d'aria sono dovuti sia alla estrema localizzazione di tali fenomeni, e quindi alla difficoltà di rilevamento sia diretto che indiretto, sia alla difficoltà di avere una corretta valutazione dei danni in modo da distinguere tra danni genericamente dovuti a venti molto forti e danni dovuti a trombe d'aria (con andamento rotatorio).

In assenza di un affidabile data base storico, alcuni studi effettuati in Italia si sono basati soprattutto sui resoconti dei media (articoli di giornale) e/o su data base creati da appassionati che hanno raccolto informazioni da varie fonti. Tutti questi dati vanno valutati con grande precauzione, proprio per il carattere spesso qualitativo e disomogeneo delle fonti. L'eventuale ricerca di una tendenza (aumento, diminuzione, stazionarietà nel numero di eventi) risulta per questi motivi ancora più problematica anche alla luce del fatto che il numero di rilevazioni nel corso del tempo è fortemente influenzato da due fattori:

- a) il crescente interesse verso il fenomeno (da parte della popolazione e dei media) e la maggior disponibilità di segnalazioni legata al miglioramento delle tecnologie (fotocamere e videocamere digitali, cellulari, internet ecc.)
- b) la maggior diffusione sul territorio di strutture che possono subire danni (abitazioni, capannoni industriali, ecc) e che pertanto possono contribuire ad evidenziare questa tipologia di fenomeni rispetto al passato (quando ad esempio era maggiore l'estensione dei terreni agricoli, sui quali il passaggio di una tromba d'aria poteva avere degli effetti meno significativi dal punto di vista della risonanza mediatica).

Per tali motivi ci si limita a fornire solo alcuni spunti/riferimenti storici, e si analizzano invece a titolo esemplificativo due eventi recenti di trombe d'aria verificatisi in area montana e in pianura.

Riferimenti storico-statistici relativi alle trombe d'aria in Veneto

Tra le trombe d'aria che hanno interessato il Veneto nel secolo scorso vanno senz'altro evidenziate, per l'entità dei danni provocati, le seguenti:

24 luglio 1930	tromba d'aria sul Montello (TV)	23 vittime
11 settembre 1970	tromba d'aria sulla laguna di Venezia (propriamente dai Colli Euganei a Venezia)	36 vittime

Oltre a questi due casi eclatanti, il Veneto non è nuovo a fenomeni del tipo di tornado o trombe d'aria.

In uno studio (cfr. Bibliografia 9.18) vengono riportati i risultati di un'analisi condotta su un data base costituito dagli eventi classificati come trombe d'aria dai principali quotidiani in un periodo leggermente inferiore a 30 anni, dal 1946 al 1973, per tutta l'Italia.

Il numero di casi registrati, da considerare con le dovute precauzioni tenendo conto della fonte giornalistica, risulta così distribuito sulle regioni dell'Italia settentrionale: 38 casi in Lombardia, 26 casi in Veneto, 23 casi in Piemonte, 21 casi in Liguria, 18 casi in Emilia Romagna, 7 casi in Friuli Venezia Giulia, 6 casi in Trentino Alto Adige, 1 caso in Valle d'Aosta.

Per tali regioni la distribuzione temporale nel corso dell'anno vede un massimo di frequenza dei fenomeni nel bimestre luglio- agosto (ad eccezione della Liguria), seguito – sul Veneto - dal bimestre settembre-ottobre. Nelle regioni costiere tirreniche il massimo annuale si ha invece nel bimestre settembre-ottobre.

In un articolo più recente (cfr. Bibliografia 9.10) viene invece utilizzato come data base quello realizzato da uno degli autori, basato sia sulle notizie dei media, sia su rilevazioni da parte di altri appassionati di meteorologia, per il periodo che va dal 1991 al 1999.

Per l'Italia viene evidenziata la maggior frequenza di tornado/trombe marine nel periodo tardo estivo e autunnale, con una differenza tra l'Italia settentrionale e le regioni tirreniche e ioniche: nel primo caso le frequenze maggiori sono in estate, nel secondo caso in autunno. Per quanto riguarda l'intensità viene evidenziata, nell'ambito del campione analizzato, la minore intensità dei tornado in Italia rispetto a quelli di altri paesi (USA *in primis*).

Un' ulteriore fonte di informazioni che può essere utilizzata (sempre con le dovute precauzioni) è costituita dai dati sui risarcimenti danni alle aziende agricole colpite da calamità naturali-atmosferiche, nell'ambito della legislazione relativa al Fondo di Solidarietà Nazionale -legge 14/02/1992, n° 185; legge 24/05/1970, n° 364; legge 15/10/1981, n° 590.

Considerando i dati relativi a circa 25 anni, dal 1978 al 2005, è stata realizzata una mappatura regionale del numero di risarcimenti concessi per danni da fenomeni indicati come "tromba d'aria", nei diversi comuni del Veneto. Questa mappatura mostra (Fig.47), con i limiti legati alle caratteristiche del data base utilizzato, una maggior frequenza dei risarcimenti concessi per danni da trombe d'aria sulla pianura nord orientale, la zona pedemontana del trevigiano, la costa centrale e settentrionale.

Va ovviamente rimarcato che il data base usato è relativo ai soli fenomeni, indicati come trombe d'aria, che hanno provocato danni ad aziende agricole e per i quali è stato richiesto e concesso il risarcimento. Risente quindi ovviamente della distribuzione spaziale delle aziende agricole.

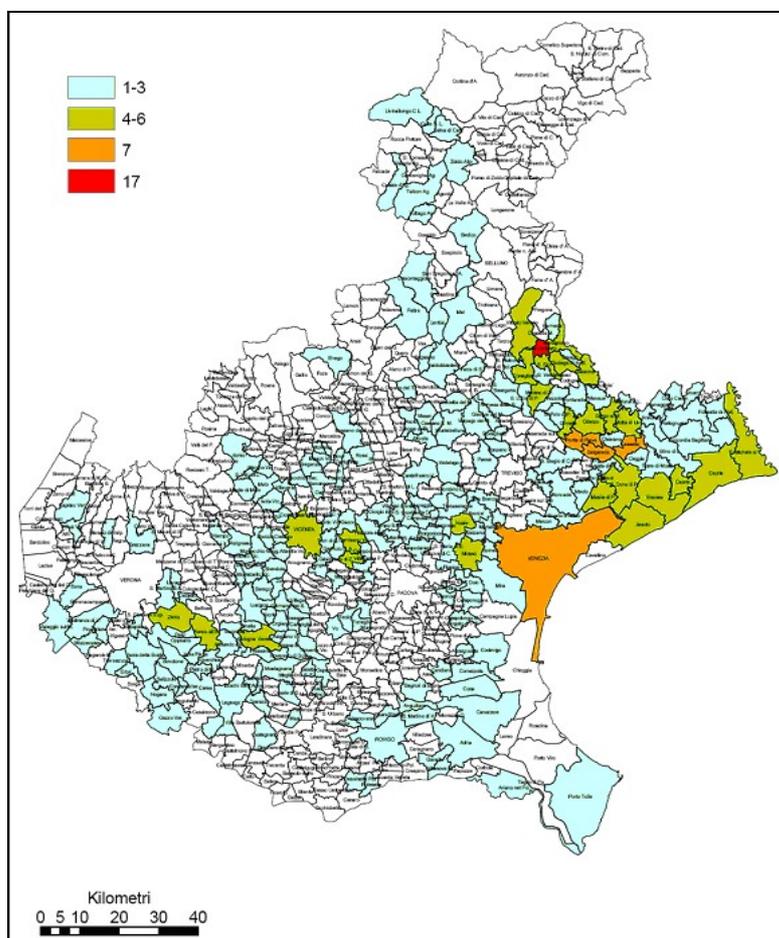


Fig. 47 – Numero dei risarcimenti per danni da eventi indicati come "Trombe d'aria", periodo 1978-2005 (Rif: D.G.R. legge 14/02/1992, n° 185; legge 24/05/1970, n° 364; legge 15/10/1981, n° 590).

Due recenti casi di trombe d'aria sul Veneto

Pur nella difficoltà di monitorare tali fenomeni con le consuete strumentazioni di tipo meteorologico a disposizione, si riportano di seguito le sintesi di due eventi particolarmente intensi con associati fenomeni assimilabili a tornado o tromba d'aria accaduti in Veneto negli ultimissimi anni. In particolare il primo caso si è registrato nel luglio 2007 in zona montana, nel Basso Bellunese tra la Val Belluna e l'Alpago, evento quindi molto raro per questa zona, e il secondo nel giugno 2009 nell'alta pianura veneta, nel trevigiano occidentale a Nord di Castelfranco Veneto.

Anche se abbastanza rari, fenomeni tipo *tornado* o tromba d'aria, associati ad intense nubi temporalesche, sono possibili sul nostro territorio specialmente in pianura e sulla costa. La formazione di un *tornado* (termine tecnico internazionale che corrisponde a quello italiano di "tromba d'aria") rappresenta infatti un evento meteorologico molto più raro per le zone montane, dove normalmente viene a mancare quell'energia, accumulata dall'aria calda e molto umida nei bassi strati, necessaria per l'innescò della supercella temporalesca che poi partorisce il pericolosissimo vortice.

Non manca la sorgente energetica invece nella pianura padana, dove le "trombe d'aria-tornado" non sono così rare e assomiglianti, anche se in scala ridotta a quelle che si originano nelle vaste pianure statunitensi, dove si verificano spesso, anche per la facilità con cui affluisce in quota aria molto fredda proveniente dal Canada.

Frequentemente, specie nelle zone montane meno abituate a questo tipo di fenomeni, è di uso comune attribuire ad una tromba d'aria le violente raffiche di vento associate ad un intenso temporale o i forti venti da Nord (raffiche di *föhn*) che si incanalano nelle valli, intensificandosi, capaci talora di raggiungere anche i 100 km. Raramente, in caso di forti venti da Nord, si possono formare nelle valli dei "rotori" (piccoli vortici del diametro di pochi metri) capaci di provocare qualche danno, ma anche in questo caso non si tratta di tromba d'aria.

In realtà si può parlare di vera tromba d'aria o di *tornado* solo quando è visibile una nube a forma di imbuto o di cono rovesciato, associato ad una nube temporalesca (Fig. di copertina), quando si vedono oggetti, anche pesanti, sollevarsi da terra e roteare per aria e soprattutto quando i danni riscontrabili al suolo seguono una scia ben precisa, all'interno di un corridoio largo da poche decine a qualche centinaio di metri (al di fuori di questo corridoio non si riscontra invece alcun danno).

In questo caso le velocità del vento superano di gran lunga i 100 km/h, fino a raggiungere i 500 km/h nei *tornado* più devastanti che si verificano generalmente solo nelle pianure statunitensi.

L'evento del 9 luglio 2007 tra la Val Belluna e l'Alpago (BL)

Nel pomeriggio del 9 luglio 2007 il tempo in Val Belluna era parzialmente soleggiato, caldo e umido, in attesa del peggioramento previsto, in questa zona, verso sera. I valori termici, igrometrici e dinamici della massa d'aria e delle correnti in quota delineavano condizioni di elevatissima instabilità.

Il soleggiamento ed il riscaldamento pomeridiano rappresenteranno un elemento determinante per la formazione della tromba d'aria, assieme naturalmente alla diminuzione termica già in atto in quota e all'arrivo di

un'intensa cella temporalesca che fra le ore 18 e le ore 19 percorrerà la Val Belluna, da Feltre verso Belluno, apportando, tra l'altro, violenti rovesci, forti raffiche di vento e dannose grandinate in molte zone, soprattutto sulla destra Piave.

Probabilmente tale cella, proveniente dall'Altopiano di Asiago, si è intensificata nel vallone bellunese, ricevendo ulteriore energia dalla massa calda e umida che vi ristagnava, come già accaduto in passato per altre celle che lo hanno percorso dal Feltrino all'Alpago, trasformandosi in supercella.

Inoltre, l'interazione della porzione inferiore della supercella con la dorsale montuosa (Coi de Pera) che scende dal Colle del Nevegal, verso Ponte nelle Alpi, incrociata trasversalmente, può aver rappresentato un altro fattore predisponente la formazione del *tornado*, sotto la caratteristica "nube a muro" (*wall cloud*) generata dalla grandiosa nube temporalesca, ormai trasformatasi in struttura mesociclonica (rotazione antioraria dell'ammasso nuvoloso osservata da alcuni testimoni).

La risalita lungo questa dorsale (dislivello circa 400 m) e la successiva discesa sul versante opposto, possono aver favorito i processi di "invortamento" dell'aria nei bassi strati per il noto "effetto Venturi" e per il conseguente incremento di vorticità assoluta subito dalle masse d'aria sotto la nube temporalesca.

Testimoni nelle zone di Castion e di Quantin, ma anche dell'Alpago, hanno dichiarato, infatti, di aver notato l'invortamento delle nubi e la formazione, in aria, di 2-3 vortici (*funnel*).

Proprio su Quantin uno di questi "*funnel*", visto da diverse persone del paese, tocca terra, prima per pochi secondi nella periferia Sud-Ovest della frazione, causando i primi locali danni, poi, dopo essersi sollevato temporaneamente, torna ad abbassarsi e colpisce con più decisione il centro dell'abitato, cominciando a produrre notevoli danni. Vengono asportate tegole da molti tetti, abbattuti comignoli, scoperchiate tettoie e sradicati o spezzati grandi alberi.

Un grosso cane, del peso di circa 40 kg, viene, per due volte, sollevato da terra di un paio di metri.

Il *tornado*, dopo aver infierito per meno di due minuti sul paese di Quantin, oscillando leggermente ed interessando un'area di 400x300 m, comincia a questo punto la rapida discesa verso il Lago di S.Croce (durerà circa 1 minuto, come testimoniano i filmati amatoriali), trascinato dalla cella temporalesca che si sposta velocemente verso il vicino Friuli.

Lungo il suo percorso trova alcune case delle frazioni di Cornolade Alte e Cornolade Basse, danneggiandole, solleva in aria oggetti anche pesanti e voluminosi e li scaraventa a grande distanza. Tegole di un tetto vengono ritrovate anche a 200 m di distanza, mentre alcuni pannelli di copertura, del peso di alcune decine di chili, lunghi 5-6 m e larghi 1 m, staccati dalla forza del vento dal tetto di un piccolo edificio nella zona di Cornolade Basse, vengono sollevati a grande altezza e trasportati dall'altra parte del lago. Uno di questi precipita in mezzo ad un prato, fra le case della frazione di Villanova di Farra, a più di 3 km di distanza da Cornolade. Nei due filmati amatoriali più nitidi è possibile vedere proprio questo pannello che vola, come un pezzo di cartone, ad un centinaio di metri di altezza, prima di "atterrare" fra le case (**Fig. 48**)



Fig. 48 – Testimonianze dei danni della tromba d'aria del 9 luglio 2007 abbattutasi fra il bellunese e l'Alpago



Una citazione particolare per la vicenda di un abito da sposa, racchiuso nella propria custodia, che viene aspirato dal *tornado*, assieme ad altri oggetti, da una soffitta di una casa scoperchiata di Cornolade Alte e ritrovato dopo alcuni giorni nella vicina regione Friuli Venezia Giulia, appeso ad una roccia nei pressi della cima del Monte Frascola (Tramonti di Sopra) da un gruppo di escursionisti. L'abito da sposa, dopo essere stato "prelevato" dalla tromba d'aria, è stato risucchiato dalle fortissime correnti ascensionali che caratterizzavano la soprastante, imponente nube temporalesca, che l'ha poi trasportato per circa 35 km, a notevoli altezze (probabilmente qualche migliaio di metri dal suolo). Molti testimoni vedono anche dei bagliori dovuti ad una linea elettrica, incrociata dal vortice, che viene danneggiata. Naturalmente, nel suo percorso, continua a danneggiare ogni tipo di vegetazione, anche per effetto dalla moltitudine di tegole vaganti e macerie varie che colpiscono, come proiettili, ogni cosa. Dai sopralluoghi effettuati si è potuto stabilire la larghezza, di circa 100 m, della stretta fascia all'interno della quale il *tornado* ha agito, essendo ben visibili gli

effetti. La larghezza di questo “corridoio”, mantenuta per quasi tutto il tragitto, corrisponde a grandi linee al diametro del *tornado* vicino al suolo.

Durante la discesa verso il lago il *tornado* assume la classica forma di imbuto biancastro roteante, anche se a tratti sembra scomparire nella prima parte della discesa. Anche successivamente, in fase di avvicinamento alle case di Villanova, l'imbuto non è più visibile e questo suo comparire e scomparire alla vista, ma non ai tremendi effetti al suolo, è dovuto ai complessi e rapidi processi di condensazione del vapore acqueo e vaporizzazione delle goccioline d'acqua, favoriti dalle straordinarie differenze di pressione fra il centro del *tornado* (pressione bassissima) e la sua periferia (pressione normale).

Dopo aver arrecato notevoli danni ad una chiesetta e ad una casa in riva al Lago di S.Croce, il *tornado* entra nel ramo settentrionale del bacino e lo attraversa rapidamente, sollevando e facendo roteare una gran massa di acqua, assumendo, apparentemente, proporzioni tipiche dei grandi *tornado* americani.

E' quasi da escludere l'intensificazione del *tornado* durante il passaggio sul lago, poiché si ritiene trascurabile, in questo tipo di fenomeno, l'ipotetico contributo del vapore acqueo derivato dalla rapida vaporizzazione dell'acqua aspirata e sollevata.

In circa un minuto la tromba d'aria raggiunge l'altra riva del lago, solleva un pedalò, scaraventandolo a qualche centinaio di metri di distanza, e rientra nella terraferma in aperta campagna, ricominciando ad abbattere alberi, anche di grandi dimensioni, alcuni dei quali vengono spezzati a mezza altezza e quasi attorcigliati per effetto del moto rotatorio dei fortissimi venti.

A questo punto la tromba d'aria gira leggermente verso destra e si dirige verso la frazione di Villanova di Farra d'Alpago, attraversando e danneggiando pesantemente molti campi di mais.

Un filmato amatoriale, ripreso da una delle prime case del paese nel momento del passaggio del *tornado*, ad una distanza di 100-150 m, rivela la presenza, all'interno del vortice principale, di un piccolo vortice secondario, che si “materializza” per pochi istanti, mentre abbatte, in una frazione di secondo, un gruppo di alberi.

Lo stesso filmato consente di vedere anche il “volo” di un grosso ramo che si stacca da un albero in lontananza e che va poi a finire sul tetto della casa dalla quale è stata ripresa la scena.

L'ingresso del *tornado* fra le case di Villanova produce i danni più rilevanti in termini di quantità, soprattutto per il notevole numero di case con tetti scoperchiati o danneggiati.

Il vento fortissimo rovescia o sposta per molti metri i cassonetti delle immondizie, ribalta una pesante pensilina (con base in calcestruzzo) per l'attesa degli autobus, scaglia ogni tipo di maceria contro i muri delle case e nei giardini.

Una trave asportata da un tetto si infila in una finestra di una casa, senza ferire nessuno.

Il *tornado* continua la sua corsa dirigendosi ora verso Puos d'Alpago ma ormai è in fase di esaurimento e si dissolve nella zona del ristorante “La Cascina”, dopo aver percorso una distanza di 5 km in circa 4 minuti, con venti che hanno soffiato (seguendo le indicazioni della classe EF1 della nuova scala Enhanced Fujita, che va da EF0 a EF5) mediamente a 140-180 km/h, ma raggiungendo

temporaneamente raffiche di 180-220 km/h (classe EF2), costituendo un fenomeno eccezionale per la provincia di Belluno, fortunatamente senza provocare danni significativi alle persone.

L'evento del 6 giugno 2009 a Vallà di Riese PioX (TV).

Il giorno 6 giugno 2009 il Veneto è interessato da condizioni di instabilità associate a correnti in quota Sud-occidentali sospinte dall'avvicinamento di una saccatura di origine atlantica.

Nella prima parte del mattino precipitazioni sparse a carattere di piovasco o breve rovescio temporalesco transitano da sud-ovest verso nord-est, interessando soprattutto le zone montane/pedemontane con quantitativi generalmente scarsi mentre sulla pianura meridionale e lungo la costa la giornata appare ancora in prevalenza soleggiata ma con una crescente ventilazione di scirocco sul mare e zona litoranea.

Dalle ore centrali della giornata e nel corso del pomeriggio nuove precipitazioni, a prevalente carattere di rovescio e temporale anche di forte intensità, transitano sul Veneto da sud-ovest verso nord-est, con fenomeni più frequenti sulle zone prealpine, pedemontane e della pianura settentrionale. In particolare, a partire dalle ore 12 solari circa, cominciano a formarsi delle celle temporalesche sul Veronese occidentale che poco dopo un'ora si organizzano in un sistema più esteso ed intenso che transita dapprima sul territorio vicentino, lambisce l'alta provincia padovana per poi raggiungere intorno alle ore 14 solari il trevigiano Nord-occidentale e interessare successivamente, nell'arco di un'ora circa, la pedemontana trevigiana e parte delle Prealpi bellunesi.

I segnali radar, relativi al sistema temporalesco sopracitato, mostrano un notevole sviluppo verticale delle celle (oltre i 10-12 km di altezza) con echi di elevata intensità anche a quote elevate ed una struttura compatibile con precipitazioni e fenomeni molto intensi, quali grandinate e forti raffiche di vento o locali moti vorticosi (quindi con possibili trombe d'aria).

I dati di alcune centraline meteorologiche presenti in prossimità delle aree maggiormente interessate, evidenziano forti raffiche di vento in corrispondenza dei passaggi temporaleschi più intensi.

In particolare si segnalano:

▶ 34.7 m/s (125 km/h)	di raffica massima del vento a 10 m dal suolo misurata alle ore 14.12 solari presso la stazione di Castelfranco Veneto (TV)
▶ 28.6 m/s (103 km/h)	di raffica massima del vento a 10 m dal suolo misurata alle ore 13.49 solari presso la stazione di Quinto Vicentino (VI)
▶ 19.0 m/s (68.4 km/h)	di raffica massima del vento a 2 m dal suolo (corrispondenti a 95 km/h circa se riferiti a 10 m dal suolo) misurata alle ore 14.08 solari presso la stazione di Rosà (VI)

Il valore più elevato è misurato quindi a Castelfranco Veneto (TV) con una raffica di 34.7 m/s, pari a 124.9 km/h (a 10m dal suolo), valore da considerarsi di assoluto rilievo e alquanto elevato per una stazione di pianura. Infatti, da una analisi effettuata su un set di 8 stazioni della pianura veneta (comprese tra fascia pedemontana e costa), dotate di anemometro a 10 m di altezza, il valore di raffica registrato a Castelfranco il 6 giugno 2009 rappresenta in assoluto il dato

più elevato mai registrato prima (a partire dal 1992, anno di inizio delle osservazioni della rete di stazioni gestita da ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo). Visto il carattere puntuale della misura effettuata dalle centraline meteorologiche non è escluso, anzi è molto probabile, soprattutto in casi di fenomeni di tipo convettivo, quali i temporali aventi una distribuzione territoriale molto irregolare, che tali valori di raffica possano localmente essere stati anche superati. Dall'analisi dei dati risulta inoltre evidente, per la maggior parte dei casi, la coincidenza temporale tra la massima raffica di vento e la fase più intensa delle precipitazioni, ciò ad indicare la forte componente temporalesca dei fenomeni caratterizzati da concomitanza di forti raffiche di vento, rovesci intensi e probabili grandinate con distribuzione spazio-temporale molto disomogenea e irregolare.

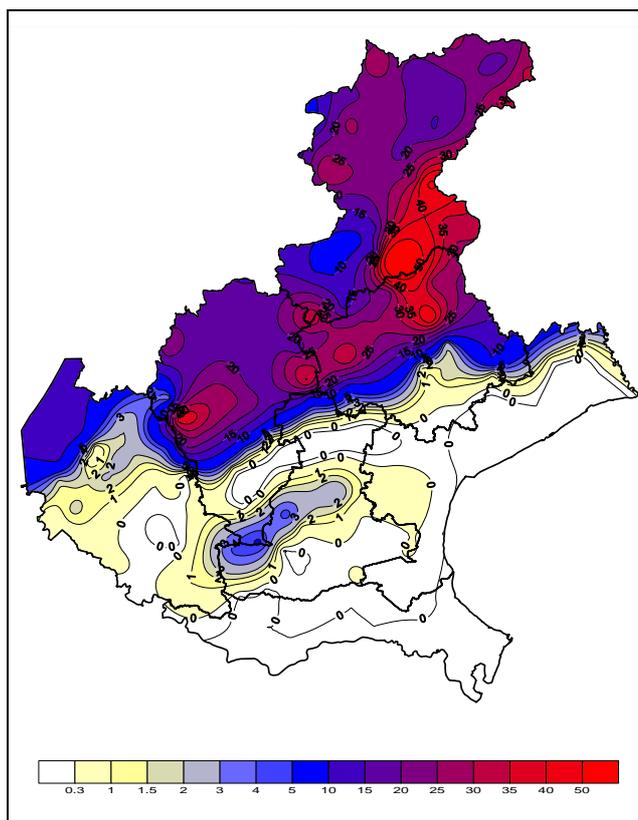


Fig. 49 - Mappa regionale delle precipitazioni cumulate (mm) del giorno 6 giugno 2009.

Le precipitazioni come detto assumono prevalente carattere di rovescio o temporale, con fenomeni anche intensi e grandinigeni e interessano, soprattutto tra la tarda mattinata e il pomeriggio, le zone pedemontane e montane e alcune zone della pianura settentrionale .

I fenomeni più intensi e con quantitativi di precipitazione più abbondanti si registrano lungo la fascia prealpina/pedemontana (**Fig. 49**) tra vicentino e trevigiano e sul bellunese sud-orientale. In particolare si registrano: 84 mm di precipitazione totale giornaliera a S. Antonio di Tortal in Comune di Trichiana (BL), dei quali 72 mm in un'ora, 48 in 30' e 32.6 mm in 15'; 30÷35 mm circa in 30' dei quali 10÷17 mm in 5', misurati, in alcune stazioni della pedemontana vicentina e trevigiana, in corrispondenza delle massime raffiche di vento registrate a seguito

del passaggio nel primo pomeriggio del sistema temporalesco. Sul resto della pianura invece le piogge appaiono più sporadiche.

Le immagini provenienti dai radar meteorologici in gestione ad ARPAV-Centro Meteorologico di Teolo di seguito proposte e corredate da alcuni commenti estratti dalla sintesi meteorologica redatta per il Centro Funzionale Decentrato del Veneto dal Centro Meteorologico di Teolo, evidenziano alcune delle fasi più significative dell'evento del 6 giugno.

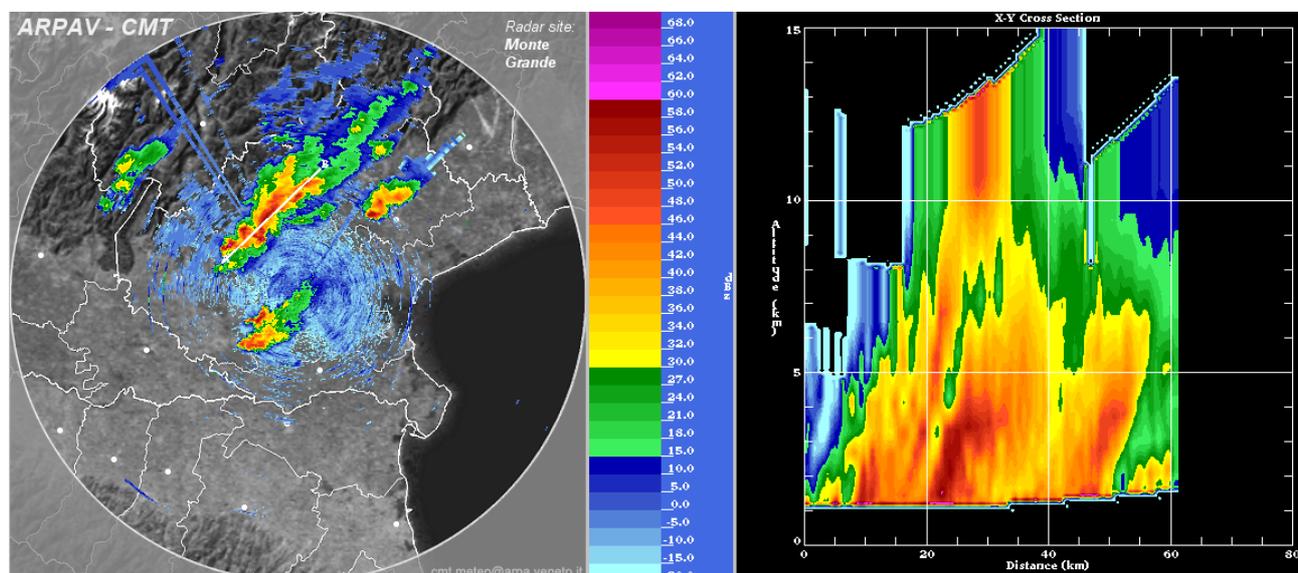


Fig. 50 - A sinistra: mappa di riflettività alle 12.30 UTC (13.30 solari) osservata dal radar di monte Grande (PD) con evidenziato un segmento AB che ingloba alcuni segnali di una certa rilevanza. A destra: sezione verticale di riflettività riferita al segmento AB (punto A a sx e punto B a dx) posizionato sulla pedemontana vicentina.

Intorno alle ore 13 solari un sistema temporalesco presente su zone prealpine e pedemontane vicentine si estende e si intensifica ulteriormente continuando il suo movimento verso Est; altrove si notano alcune celle più piccole sulla pianura sud-occidentale e nel trevigiano sud-occidentale (**Fig. 51**).

Dopo le ore 13.30 solari il sistema temporalesco presente sulla pedemontana vicentina si intensifica ulteriormente manifestando valori massimi di riflettività molto elevati (intorno ai 55-60 dBZ) e un forte sviluppo verticale (oltre i 10 km di altezza). Il suo spostamento è ora in direzione Est-SudEst. Nel frattempo si distinguono ancora altre due celle temporalesche, una sul padovano occidentale e l'altra nel trevigiano, a Nord di Treviso (**Fig. 52**).

Poco prima delle ore 14 solari l'intenso sistema temporalesco si posiziona lungo la fascia pedemontana tra le provincie di Vicenza e Treviso e tende ad unirsi con altre piccole celle temporalesche che nel frattempo si erano formate anteriormente, tra l'alto trevigiano e le prealpi bellunesi.

I segnali radar mostrano sempre valori massimi di riflettività particolarmente elevati e uno sviluppo verticale ben oltre i 10 km di altezza.

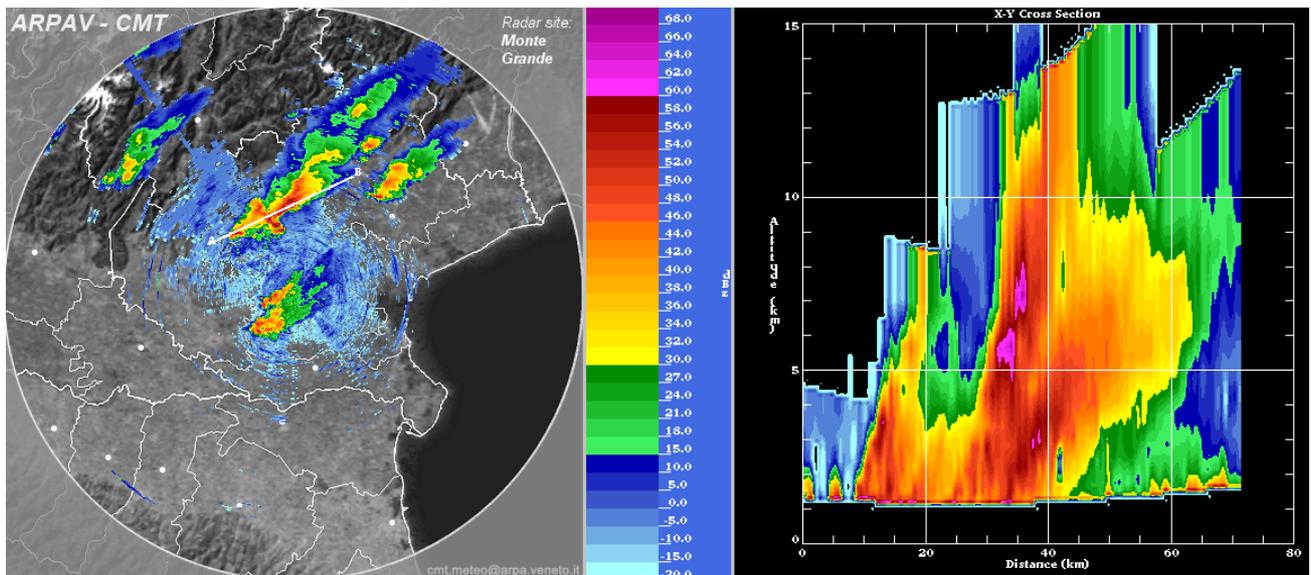


Fig. 51 - A sinistra: mappa di riflettività alle 12.40 UTC (13.40 solari) osservata dal radar di monte Grande (PD) con evidenziato un segmento AB che ingloba alcuni segnali di una certa rilevanza. A destra: sezione verticale di riflettività riferita al segmento AB (punto A a sx e punto B a dx) posizionato sulla pedemontana vicentina.

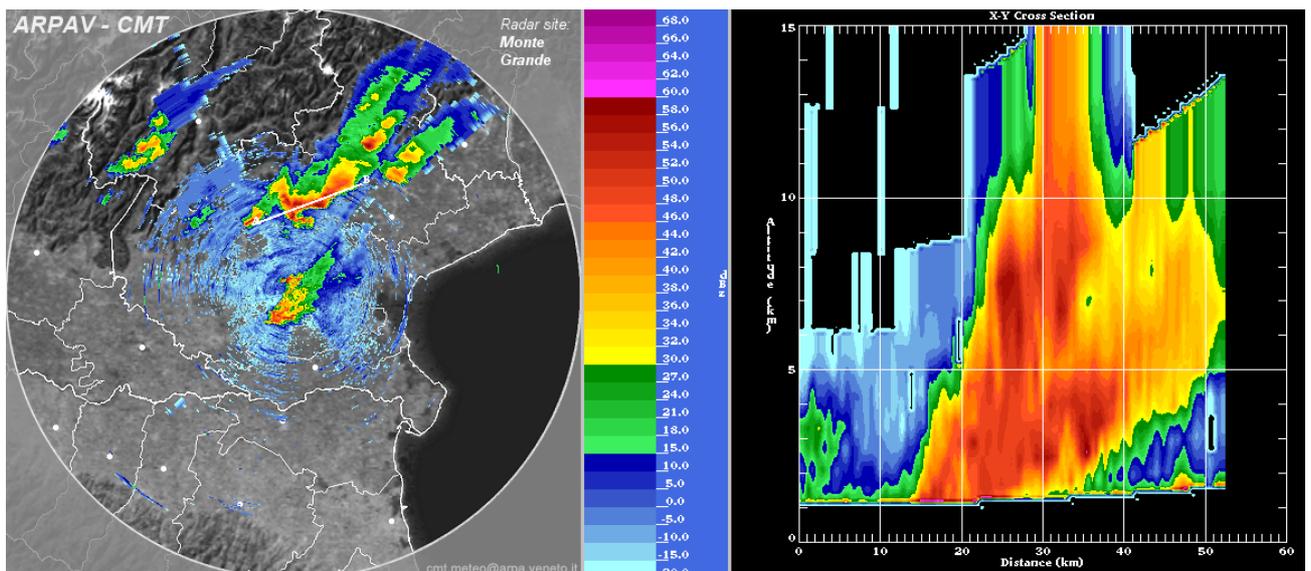


Fig. 52 - A sinistra: mappa di riflettività alle 12.50 UTC (13.50 solari) osservata dal radar di monte Grande (PD) con evidenziato un segmento AB che ingloba alcuni segnali di una certa rilevanza. A destra: sezione verticale di riflettività riferita al segmento AB (punto A a sx e punto B a dx) posizionato sulla pedemontana tra le provincie di Vicenza e Treviso.

Le caratteristiche di tale sistema temporalesco (estensione, inclinazione lungo la verticale, moto rotante dell'intero sistema nuvoloso, lunga durata del sistema per auto-alimentazione, situazione meteorologica favorevole, forme caratteristiche delle mappe di riflettività da radar meteorologico) possono essere riconducibili a quelle tipiche di una supercella che rappresenta la forma temporalesca più potente e pericolosa e capace, seppur raramente nella pianura veneta, di generare anche fenomeni tornadici o di tromba d'aria. Si sottolinea altresì che i fenomeni vorticosi su piccola scala, quali *tornado* e trombe d'aria, non sono

rilevabili direttamente dalle strumentazioni meteorologiche standard ed in possesso del Centro Meteorologico di Teolo; in assenza di prove visuali (foto, filmati, testimonianze), la presenza o meno di un *tornado* può essere desunta solamente da una accurata analisi dei danni prodotti e proprio sui danni è basata anche la scala di intensità dei *tornado* attualmente in uso in tutto il mondo (scala *Fujita*).

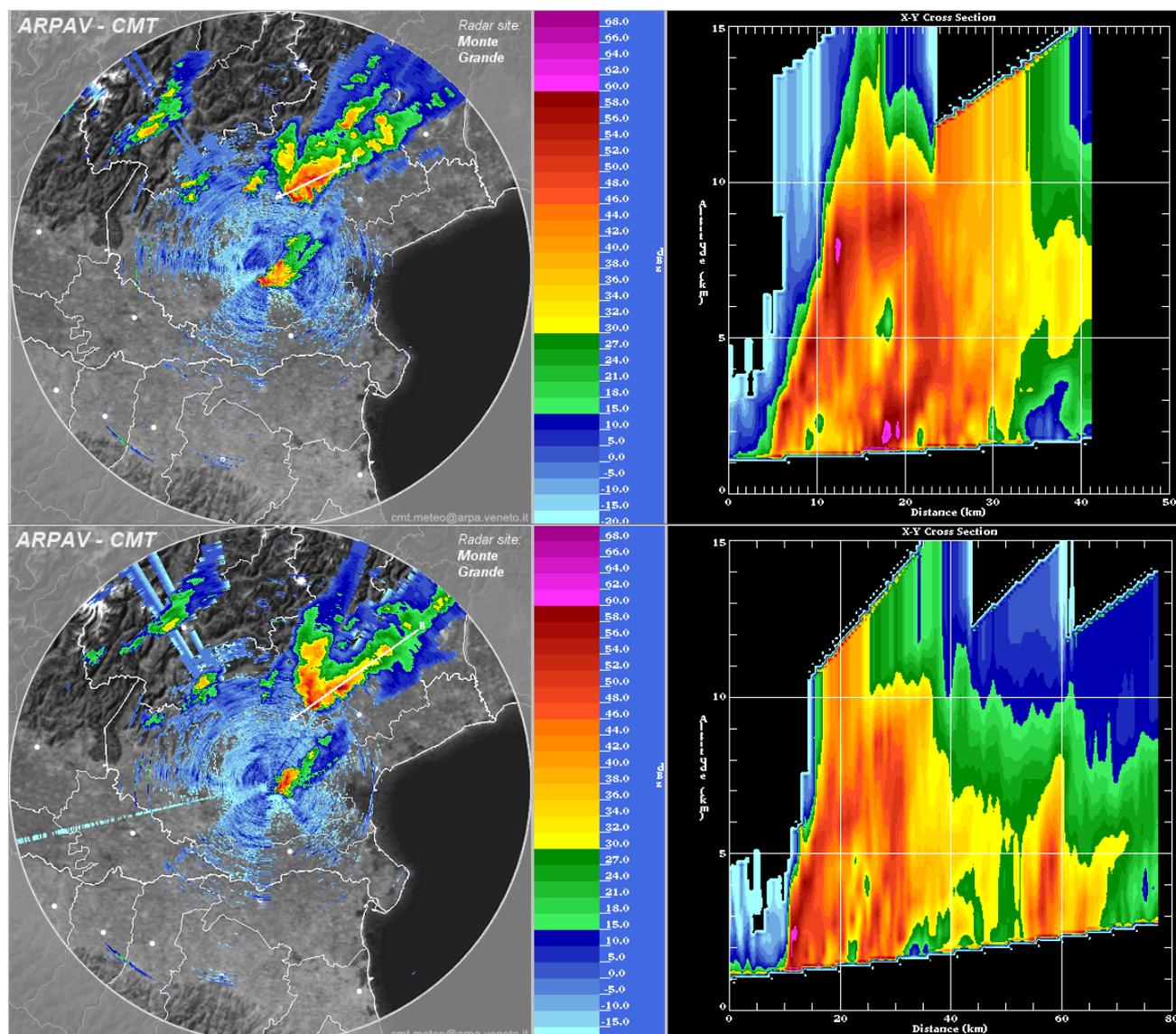


Fig. 53 - In alto a sinistra: mappa di riflettività alle 13.00 UTC (14.00 solari) e in basso a sinistra alle ore 14.10 solari, osservate dal radar di monte Grande (PD) con evidenziato un segmento AB che ingloba alcuni segnali di una certa rilevanza. A destra: le sezioni verticali di riflettività riferita al segmento AB (punto A a sx e punto B a dx) posizionato sulla pedemontana Trevigiana, appena a Nord di Castelfranco V.to nei rispettivi orari.

Alle 14.00 solari l'intenso sistema temporalesco lascia la provincia di Vicenza e interessa principalmente le zone occidentali della pedemontana trevigiana (**Fig. 53**) transitando appena a Nord di Castelfranco. La supercella mantiene ancora le proprie caratteristiche in termini di intensità, sviluppo verticale ed estensione, compatibili dunque ad eventi particolarmente violenti quali piogge molto

intense, forti grandinate, forti raffiche di vento, con probabili locali moti vorticosi (tromba d'aria).

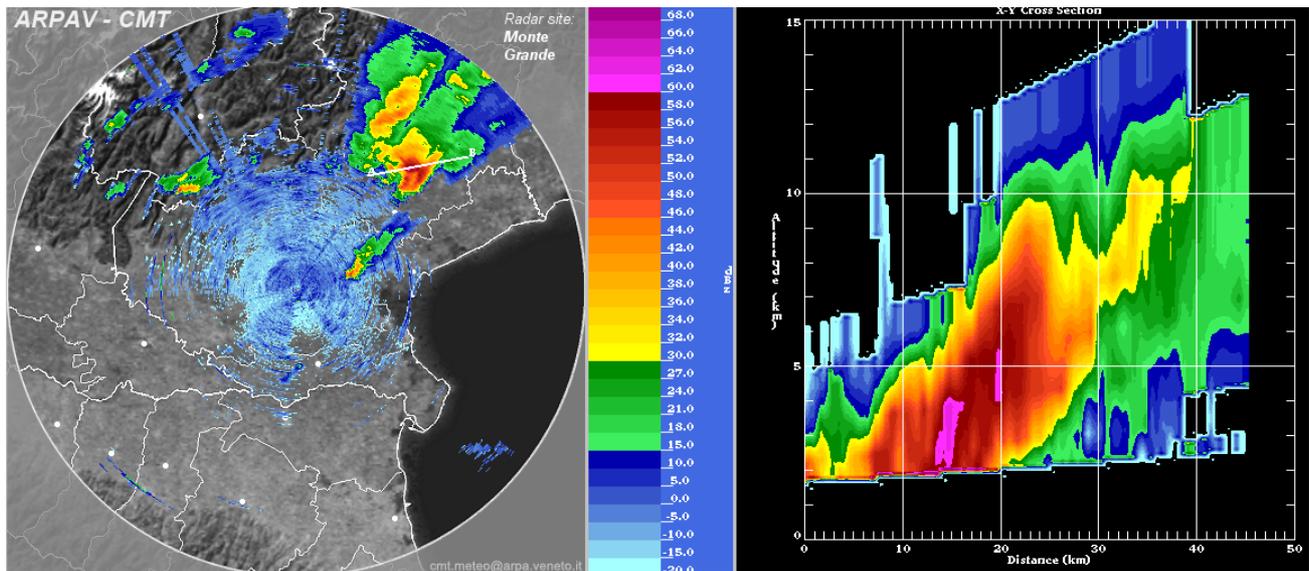


Fig. 54 A sinistra: mappa di riflettività alle 13.30 UTC (14.30 solari) osservata dal radar di monte Grande (PD) con evidenziato un segmento AB che ingloba alcuni segnali di una certa rilevanza. A destra: sezione verticale di riflettività riferita al segmento AB (punto A a sx e punto B a dx) posizionato sulle zone prealpine/pedemontane orientali.

Successivamente (Fig. 54) il sistema si sposta velocemente verso est attraversando la fascia centro-settentrionale della Provincia di Treviso e il bellunese meridionale con echi radar ancora elevati specie sulla pedemontana trevigiana ma con sviluppi in altezza della cella meno elevati rispetto a prima, fino a lasciare il territorio regionale intorno alle 15 solari.

In seguito si segnalano ancora delle piccole celle temporalesche con locali fenomeni intensi in Val Belluna e sulla pianura centro-orientale dal padovano in transito verso Est, lungo il confine tra le provincie di Venezia e Treviso.

I danni materiali sono ingenti in molte località della fascia pedemontana e dell'alta pianura compresa tra il vicentino, l'alta padovana e il trevigiano con diversi casi di persone ferite, in un caso anche grave. I principali quotidiani del Nord-Est il giorno seguente riportano numerose testimonianze ed immagini degli effetti lasciati dal passaggio del violento fortunale. In particolare nel territorio di Vallà di Riese PioX (TV) sembra si siano registrati i casi più gravi con diverse abitazioni scoperciate e seriamente danneggiate, capannoni distrutti tra cui una palestra, auto rovesciate, tralicci dell'alta tensione abbattuti o danneggiati (Fig. 55), alberi sradicati ecc.





Fig. 55 – Alcune immagini relative alla zona più colpita dall'evento del 6 giugno 2009 (Fonte: La Tribuna di Treviso, 7 giugno 2009).

8. CONCLUSIONI

Sono stati analizzati gli andamenti dei fenomeni meteorologici estremi, con particolare riferimento alle precipitazioni intense, che interessano il Veneto.

L'analisi è stata effettuata su un set di dati relativo agli ultimi decenni, più consistente a partire dagli anni 90 quando è stata resa operativa una fitta rete regionale.

I principali risultati delle elaborazioni sono così riassumibili:

- ▶ calo delle precipitazioni annue attribuibile in gran parte alla diminuzione durante la stagione invernale nel periodo 1956-2004;
- ▶ maggior contributo dei giorni più piovosi sull'ammontare totale delle precipitazioni, con particolare riferimento alla pianura;
- ▶ sempre per la pianura, tendenza all'aumento del numero di eventi intensi di breve durata (3,6,12 ore), mentre il *trend* per gli eventi di brevissima durata (10,30,60 minuti) è meno evidente;
- ▶ calo nell'ultimo ventennio dei tempi di ritorno delle precipitazioni massime annuali soprattutto per le stazioni di pianura, mentre in alcune zone montane l'andamento riscontrato è più irregolare o stazionario con alcuni casi che registrano anche tendenze opposte, soprattutto per le precipitazioni di più lunga durata;
- ▶ ripetersi con frequenza annuale, sempre nel mese di settembre, di fenomeni estremi di precipitazione sull'area costiera negli ultimi 5 anni.

E' importante sottolineare che, data la limitatezza del set di dati a disposizione, condizione assai frequente per i fenomeni estremi, per definizione "rari", i risultati delle elaborazioni statistiche vanno considerati con estrema cautela.

Tale approccio risulta ancor più doveroso ove si tenti di estrapolare al futuro i *trend* riscontrati, questione, per altro, non affrontata nel presente rapporto.

Per tali aspetti occorre riesaminare i dati assumendo un arco temporale molto più lungo e un contesto geo-territoriale più vasto.

Sulle conseguenze al suolo dei fenomeni estremi non si dimentichi che intervengono altri fattori non legati al meteo-clima le cui variabili condizionano anche pesantemente gli esiti delle perturbazioni e che i decisori debbono valutare con grande attenzione negli atti di programmazione e pianificazione territoriale.

9. BIBLIOGRAFIA

- 9.1. Barbi A., Chiaudani A., Delillo I., Borin M., Berti A., 2007. Andamenti agroclimatici nella regione Veneto nel periodo 1956-2004. In Atti del Convegno nazionale AIAM 2007 "Agrometeorologia, Sostenibilità Ambientale e Desertificazione" Isola Capo Rizzuto, 29-31 maggio 2007, in Rivista Italiana di Agrometeorologia, anno 12, supplemento al n.1 pp. 14-16,2007.
- 9.2. Barbi A., Monai M., Racca R., 2004. Caratterizzazione degli eventi pluviometrici intensi in provincia di Venezia. Rapporto interno ARPAV-Centro Meteorologico di Teolo. Convenzione tra ARPAV Centro Meteorologico di Teolo e Provincia di Venezia Settore Protezione Civile e Difesa del Suolo, 2004.
- 9.3. Barbi, A., Monai, M., Racca, R., and Rossa, A. M.: Recurring features of extreme autumnall rainfall events on the Veneto coastal area, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2463-2477, 2012
- 9.4. Bixio V., Fiume A., 2002. Caratterizzazione delle piogge intense sul bacino scolante nella laguna di Venezia. Regione Veneto – A.R.P.A.V.
- 9.5. CMCC - Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, 2009. I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti. A cura di Sergio Castellari e Vincenzo Aitale, Bononia University Press, Bologna, 2009.
- 9.6. De Luis M., Raventos J., Gonzalez-Hidalgo JC, Sanchez JR, Cortina J. 2000. Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain). International Journal of Climatology 20: 1451–1469.
- 9.7. Egiatti G., Settin T.. 2007. Appunti per il calcolo dei tempi di ritorno delle piogge intense. Nota tecnica n. 09/07 di ARPAV-U.O. Rete Idrografica Regionale.
- 9.8. Fiume A., Bixio V. (A cura di -)Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatici di possibilità pluviometrica di riferimento, 2009.
- 9.9. Floris M., D'Alpaos A., Squarzoni C., Genoveis R., Marani M.. 2010. Recent changes in rainfall characteristics and their influence on thresholds for debris flow triggering in the Dolomitic area of Cortina d'Ampezzo, north-eastern Italian Alps. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10: 571-580. <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/571/2010/>
- 9.10. Giaiotti D.B., Giovannoni M., Pupillo A., Stel F. – The climatology of tornadoes and waterspouts in , Atmospheric Research n. 83, 2007

- 9.11. Gilbert, Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York, 1987.
- 9.12. Hurrell, J. W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation. *Science*, 269, 676-679, 1995.
- 9.13. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007."Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- 9.14. Jacobeit J., Dunkeloh A., and Hertig E., 2007. Mediterranean rainfall changes and their causes. In: *Enough Water for All?*, edited by: Lozan, J. L., Graß, H., Hupfer, P., Menzel, L., and Schönwiese, C. D., *Wissenschaftliche Auswertungen*, Hamburg, 195-199, 2007.
- 9.15. Martin-Vide J.. 2004. Spatial distribution of daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology* 24: 959–971
- 9.16. Monai M., Barbi A., Racca R.. 2010. Recurring features of extreme rainfall events close to Veneto coast during autumn. *Plinius Conference Abstracts Vol. 12, Plinius12-4*.
- 9.17. Palatella L., Miglietta M. M., Paradisi P., and Lionello P., 2010. Climate change assessment for Mediterranean agricultural areas by statistical downscaling., *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1647-1661, 2010
- 9.18. Palmieri S., Pulcini A., Trombe d'aria sull'Italia, *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, volume XXXIX - n. 3-4, 1979.
- 9.19. Perin Filippo, Tesi di laurea. Indagine sull'ipotesi di estremizzazione delle piogge intense nella Regione Veneto. Università degli Studi di Padova. Facoltà di Agraria. Relatore Prof. Vincenzo d'Agostino. Anno accademico 2009/2010.
- 9.20. Politeo M., 2006. Tesi di Laurea. Le avversità atmosferiche nell'agricoltura veneta nel periodo 197005, Università degli Studi di Padova – Facoltà di Agraria Dip. di Agronomia Corso di Laurea in Scienze Tecnologie Agrarie, Relatore M.Borin, Correlatore A.Chiaudani, A.A. 2005-2006, http://www.arpa.veneto.it/upload_teolo/agrometeo/fix/Politeo.pdf).
- 9.21. Publication No. 31. Finnish Meteorological Institute, 2002.

- 9.22. Salmi et alii. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – The excel template application MAKESENS.
- 9.23. Sirois, Allan. A brief and biased overview of time series analysis or how to find the evasive trend. WMO Report No. 133:WMO/EMEP workshop on advanced statistical methods and their application to air quality data sets. Helsinki, 14-18 september 1998.
- 9.24. Soliani L., 2008. "I test non-parametrici più citati nelle discipline scientifiche". Uni.Nova, Parma
- 9.25. Soliani L., Manfredini M., 2009. Statistica Applicata. Uni.Nova, Parma.
- 9.26. Villi V., Bacchi B., 2000. Valutazione delle piene nel Triveneto. CNR G.N.D.C.I., Pubblicazione n. 2511, 2000.
- 9.27. Xoplaki, E., 2002. Climate variability over the Mediterranean. Ph.D. thesis, University of Bern, Switzerland, http://sinus.unibe.ch/klimet/docs/phd_xoplaki.pdf, 2002.

10. SITOGRAFIA

- 10.1. Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]: <http://www.ipcc.ch>;
- 10.2. United Nations Environment Programme [UNEP]: <http://www.unep.ch>;
- 10.3. World Meteorological Organization [WMO]:
http://www.wmo.int/pages/index_en.html;
- 10.4. ARPAV -Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto: <http://www.arpa.veneto.it/>;
- 10.5. ARPAV- Meteo Veneto:
<http://www.arpa.veneto.it/previsioni/it/html/index.php>;
- 10.6. ARPAV – Meteo Dolomiti:
http://www.arpa.veneto.it/previsioni/it/html/meteo_dolomiti.php;
- 10.7. ARPAV – Meteo pianura:
http://www.arpa.veneto.it/previsioni/it/html/meteo_pianura.php;
- 10.8. ARPAV – Meteo Garda:
http://www.arpa.veneto.it/previsioni/it/html/meteo_garda.php;
- 10.9. ARPAV – Meteo spiagge:
http://www.arpa.veneto.it/previsioni/it/html/meteo_spiagge.php;
- 10.10. Sito dei Fenomeni temporaleschi : <http://www.fenomenitemporaleschi.it>;
- 10.11. <http://www.sat24.com>

11. RIFERIMENTI

11.1



Strutture dell'ARPAV Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto che hanno contribuito alla realizzazione dello studio:

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio

Via F. Tomea, 5 - 32100 Belluno

Tel. 0437-935600 - Fax 0437-935601 - e-mail: dst@arpa.veneto.it

Direttore: Alberto Luchetta

Servizio Meteorologico

Via Marconi, 55 - 35037 Teolo (PD)

Tel. +39 049 9998111 - Fax +39 049 9925622 - e-mail: cmt@arpa.veneto.it

Dirigente: Marco Monai

Servizio Neve e Valanghe

Via Pradat, 5 - 32020 Arabba di Livinallongo del Col di Lana (BL)

Tel. +39 0436 755711 - Fax +39 0436 79319 - e-mail: cva@arpa.veneto.it

Dirigente: Francesco Sommavilla

Servizio Idrologico Regionale

Via F. Tomea, 5 - 32100 Belluno

Tel. +39 0437 935600 - Fax +39 0437 935601 - e-mail: sir@arpa.veneto.it

Dirigente: Giacomo Renzo Scussel

11.2 Il dott. forestale Alberto Gobbi - autore del sito www.fenomenitemporaleschi.it e coautore del libro “Temporali e Tornado”, Alpha Test, 2009 ha messo a disposizione le fotografie della Fig. 46.

11.3 La fotografia di copertina riprendente la tromba d'aria è stata tratta dal quotidiano on line de Il Gazzettino di Venezia

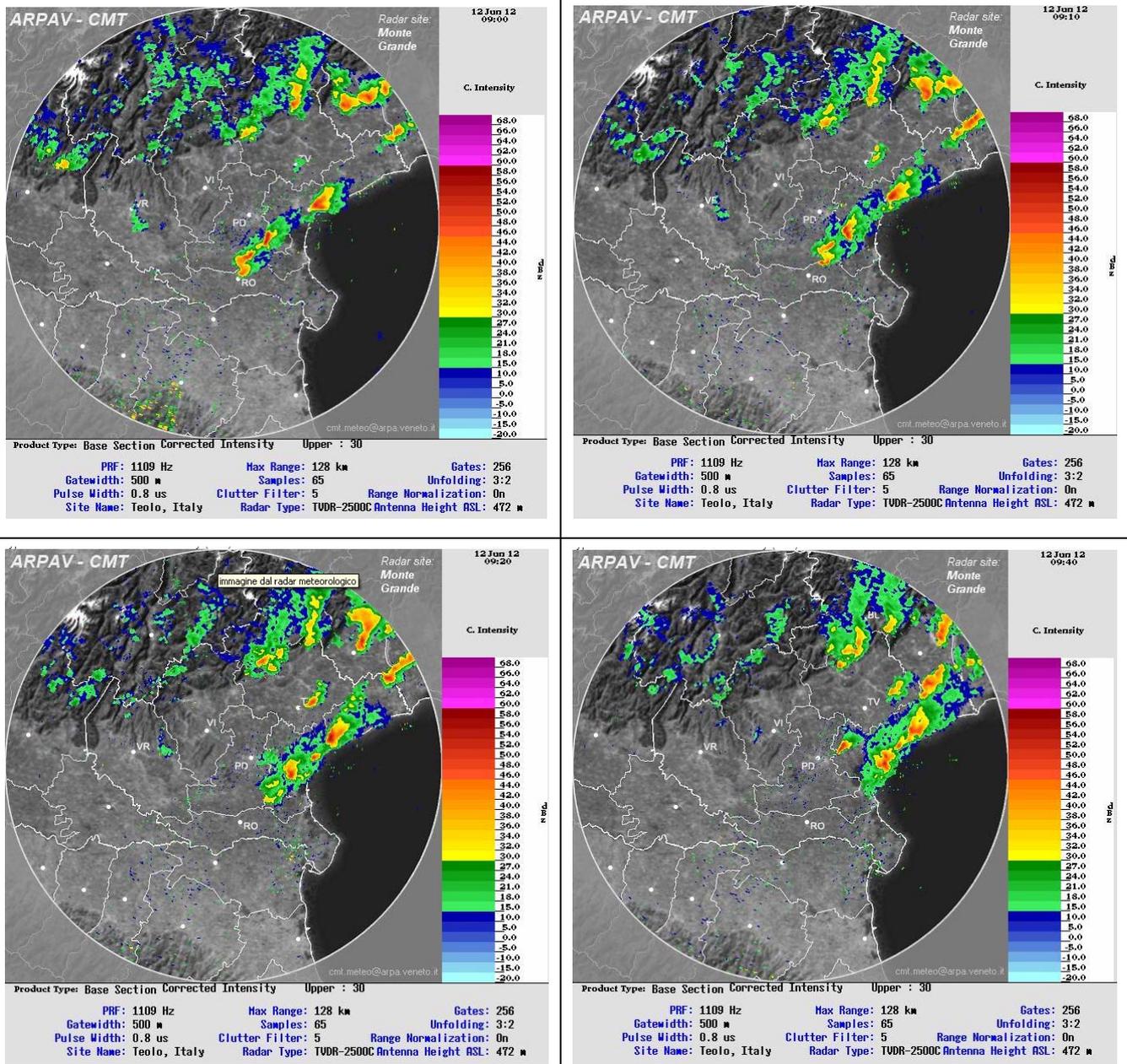


Fig. 56 - Sequenza dello spostamento della cella temporalesca nella quale si è originata la tromba d'aria (cfr. foto di copertina) transitata su Venezia e litorale il giorno 12 giugno 2012