

# L'influenza delle recenti variazioni climatiche (1991-2007) sul dissesto idrogeologico. Un tentativo di sintesi per il territorio della Bassa Romagna e della Repubblica di San Marino

**Cristiano Guerra**

Geologo, Libero professionista

La comprensione delle relazioni tra i cambiamenti climatici registrati nel recente passato ed i fenomeni di dissesto idrogeologico non è sempre agevole. Il territorio della Bassa Romagna e della Repubblica di San Marino, facenti capo sostanzialmente al bacino idrografico del fiume Marecchia, possono rappresentare un'interessante area campione in ragione dei caratteri geologici e geomorfologici, della disponibilità di dati climatici in alcune serie ben rappresentative e complete e per la disponibilità di studi e monitoraggi relativi ai fenomeni di dissesto idrogeologico (Foto 1). In questo tentativo di sintesi preliminare, si sono considerati i dati di quattro stazioni meteorologiche: Rimini, San Marino-Monte Titano, Novafeltria e Pennabilli (Figura 1).

Si tratta di stazioni attive tutte da più di 80 anni e tali da rappresentare differenti situazioni orografiche. L'analisi dei dati pluviometrici e termometrici del periodo 1990 - 2007 ed il loro confronto con le medie del periodo precedente (trentennio 1961-1990) ha evidenziato impor-

tanti cambiamenti nel regime climatico della zona, in sostanziale accordo con le tendenze a scala maggiore. In sintesi, per quanto riguarda le temperature si è verifi-



Foto 1 - Edificio colpito dal crollo di un blocco roccioso dalla rupe del Monte Titano, in località San Giovanni, il 24 dicembre 1925 (Foto Archivio MW San Marino).



Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area con evidenziate le quattro stazioni meteorologiche di riferimento.

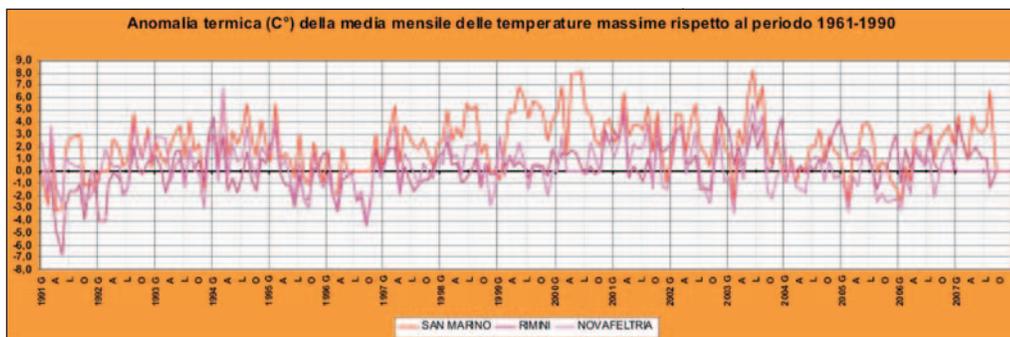


Figura 2 - Anomalia termica della media mensile delle temperature massime dal 1991 al 2007, rispetto alla media del trentennio 1961 - 1990.

cato un aumento generalizzato delle medie mensili ed una notevole diminuzione dei giorni con temperature inferiori allo zero. Un andamento particolare si osserva per la stazione di San Marino, dove l'aumento delle temperature risulta più marcato che nelle altre stazioni. Molto interessanti risultano le anomalie termiche della media mensile delle temperature massime e minime rispetto al periodo 1961-1990. In tutte le stazioni, ed in più occasioni, si sono registrati scostamenti positivi di oltre 5 gradi dalle medie del trentennio di riferimento, mentre solo una volta e per solo una stazione (Rimini) si è osservato un simile scostamento in negativo (Figura 2). La quantità annuale delle precipitazioni mostra una tendenza alla diminuzione in tutte le stazioni (Figura 3), con annate molto aride (1993, 1994, 1998, 2000 e 2003) o eccezionalmente aride (2003) e annate molto piovose (1996, 1999) o estremamente piovose (2005).

Si è osservata una generale riduzione delle medie mensili delle precipitazioni nei mesi invernali ed un aumento del picco autunnale, con una drastica diminuzione delle nevicate. Fa eccezione il 2005 che ha registrato apporti nevosi decisamente abbondanti. Risulta interessante anche nell'ambito delle precipitazioni osservare le anomalie mese per mese, evidenziando, ad esempio, lo scostamento percentuale delle precipitazioni mensili rispetto alle medie del periodo di riferimento.

In questo modo non sono però ben percepibili e

quantificabili i periodi siccitosi mentre si osservano in maniera chiara i periodi con precipitazioni abbondanti. Importanti indicazioni si possono dedurre prendendo in esame i cosiddetti "eventi intensi", vale a dire i giorni in cui si sono registrate precipitazioni per più di 50 mm, ed i mesi siccitosi, in cui le precipitazioni sono state inferiori ai 5 mm. Considerando tutte le stazioni, nel trentennio 1961-1990 si sono registrati 138 in eventi intensi, con una media di 4,6 eventi all'anno e 28 mesi siccitosi, con una media di 0,9 all'anno. Nel periodo 1991-2006 si sono registrati 88 eventi intensi, con una media di 5,5 eventi all'anno e ben 21 mesi siccitosi, con una media di 1,3 all'anno.

Per rendere raffrontabili le variazioni climatiche degli ultimi anni con le fasi acute del dissesto idrogeologico, si è tentato di riportare in uno stesso diagramma temporale sia le grandezze climatiche, che una rappresentazione del dissesto idrogeologico.

I dati climatici sono stati quindi elaborati in modo da ottenere un indice che evidenziasse su base mensile i periodi caratterizzati da condizioni accentuate. Tenendo sempre presente le indicazioni ottenute dalle elaborazioni illustrate in precedenza, la soluzione più adatta è sembrata quella di ricorrere all'indice SPI (*Standardized Precipitation Index* - McKee et al 1993). Si è valutato anche l'utilizzo dell'indice WASP (*Weighted Anomaly Standardized Precipitation* - Lyon 2004) con risultati analoghi ma non altrettanto soddisfacenti. L'indice SPI si ottiene considerando la

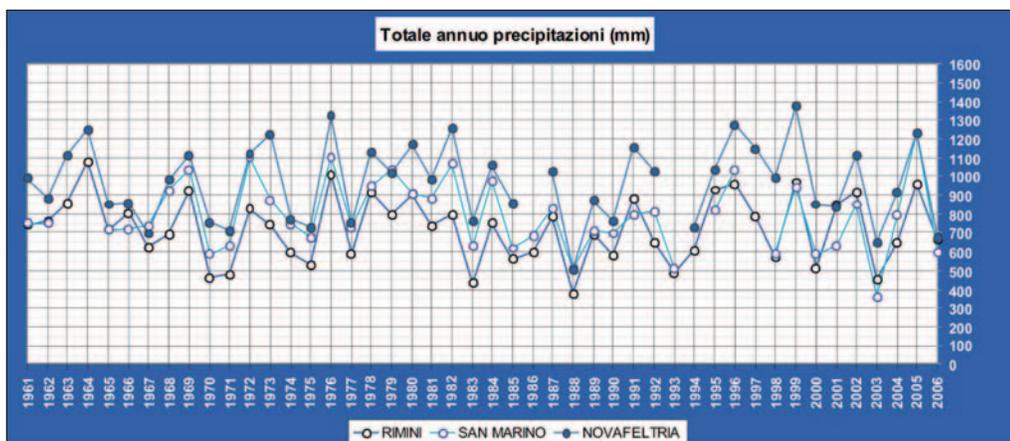


Figura 3 - Precipitazioni annue registrate dalle quattro stazioni meteorologiche di riferimento dal 1961 al 2006.

deviazione della precipitazione rispetto al suo valore medio su una data scala temporale, divisa per la sua deviazione standard. Le precipitazioni hanno una distribuzione temporale irregolare, a maggior ragione in periodi non lunghi, per cui l'indice SPI viene corretto in modo da avere distribuzione gaussiana con media nulla e varianza unitaria. L'indice SPI consente quindi di operare un confronto tra stazioni di misura lontane e situate in condizioni orografiche diverse. Valori dell'indice SPI compresi tra -1 e 1 identificano periodi con andamenti normali delle precipitazioni, valori dell'indice compresi tra 1 e 1,5 e valori compresi tra -1 e -1,5 evidenziano rispettivamente periodi moderatamente umidi e moderatamente siccitosi. Quando l'SPI assume valori compresi tra 1,5 e 2 e valori compresi tra -1,5 e -2 si hanno periodi molto umidi e molto siccitosi, valori superiori a 2 ed inferiori a -2 identificano periodi estremamente umidi ed estremamente siccitosi. È stato preso in considerazione l'indice SPI calcolato per sei mesi, in quanto questo periodo rappresenta un lasso di tempo in cui gli andamenti delle precipitazioni influiscono in modo incisivo sulle acque di infiltrazione e sulle falde freatiche.

L'elaborazione dei dati relativi alle precipitazioni è stata eseguita a partire dal 1960. Nelle quattro stazioni di riferimento, l'indice SPI a sei mesi presenta andamenti quasi sempre simili, per cui si è ritenuto possibile sin-

tetizzare un valore medio. In questo modo sono risultati chiaramente evidenti i periodi caratterizzati da precipitazioni molto abbondanti, quindi estremamente umidi, e soprattutto i periodi estremamente siccitosi a scala regionale o comunque alla scala del bacino idrografico del fiume Marecchia. Nel periodo 1991-2006 l'SPI medio ha superato il valore di 2 nell'autunno 2005, raggiungendo valori di poco inferiori nell'autunno del 1999 e nell'inverno 1996-97, mentre è sceso sotto -2 per ben tre volte, nell'inverno 1994-95, nell'estate 2003 e nella primavera 2007 (Figura 4 e Figura 5).

Nel trentennio 1961-1990, invece, l'indice SPI a sei mesi ha superato il valore di due solo nell'autunno 1976 ed è sceso sotto -2 solo nell'estate 1982. (Figura 5). Per quantificare il dissesto in modo da renderlo raffrontabile si sono ricavati tre "indici", definiti sinteticamente come *indice delle piene fluviali*, *indice dell'instabilità dei versanti* ed *indice delle lesioni da essiccamento*. Il primo indice deriva da una stima del numero, della gravità e della diffusione di fenomeni di deformazione dei versanti nell'area in oggetto, considerando anche le riattivazioni, tentandone una valutazione critica ed inevitabilmente qualitativa (Foto 2, Foto 3). Il secondo indice è legato al verificarsi di piene fluviali ordinarie e straordinarie dei principali corsi d'acqua dell'area ed in primo luogo del fiume Marecchia (Foto 4, Foto 5).

Il terzo indice è stato stimato in funzione del numero di

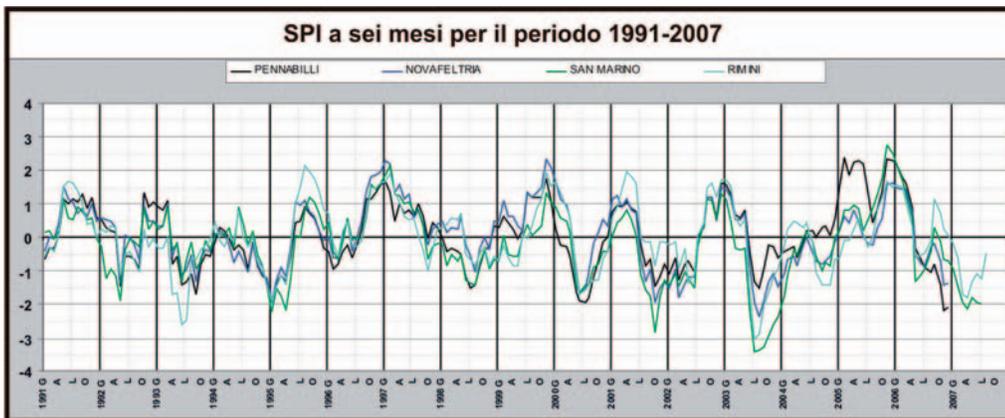


Figura 4 - Valore dello SPI a sei mesi nel periodo 1991-2007 per le quattro stazioni meteorologiche di riferimento.

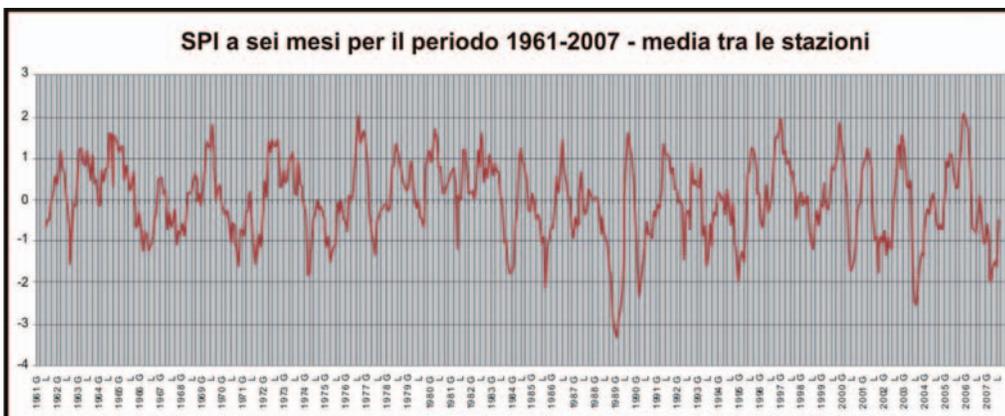


Figura 5 - Valore dello SPI a sei mesi calcolato come media tra le quattro stazioni meteorologiche di riferimento dal 1961 al 2007.



Foto 2 - Galavotto, Repubblica di San Marino. Effetti di un esteso fenomeno franoso riattivato nel novembre 2005 sulle condotte di distribuzione dell'acquedotto.



Foto 3 - San Leo. Blocchi rocciosi crollati dalle rupi settentrionali e successivamente mobilizzati da colate argillose. Maggio 2006.



Foto 4 - Fiume Marecchia, località Ponte Verucchio. Effetti della piena dell'8 ottobre 2005 su una briglia in cemento armato.



Foto 5 - Fiume Marecchia, località Ponte Santa Maria Maddalena. Piena del 26 novembre 2005.



Foto 6 - Serravalle, Repubblica di San Marino. Lesioni su un edificio imputabili all'effetto dell'essiccamento, ottobre 2003.



Foto 7 - Acquaviva, Repubblica di San Marino. Lesioni su un edificio imputabili all'effetto dell'essiccamento, agosto 2007.

segnalazioni di dissesti ad edifici la cui origine è imputabile a cedimenti per essiccamento del terreno di fondazione. Quest'ultimo fenomeno, particolarmente diffuso negli ultimi anni, è tipico dei terreni argillosi e si manifesta in maniera maggiore sui versanti e sui crinali (Foto 6, Foto 7). La sintesi di tutte le elaborazioni è stata quindi riportata su un grafico temporale dove è possibile osservare e ricercare le correlazioni tra le situazioni climatiche anomale, rappresentate

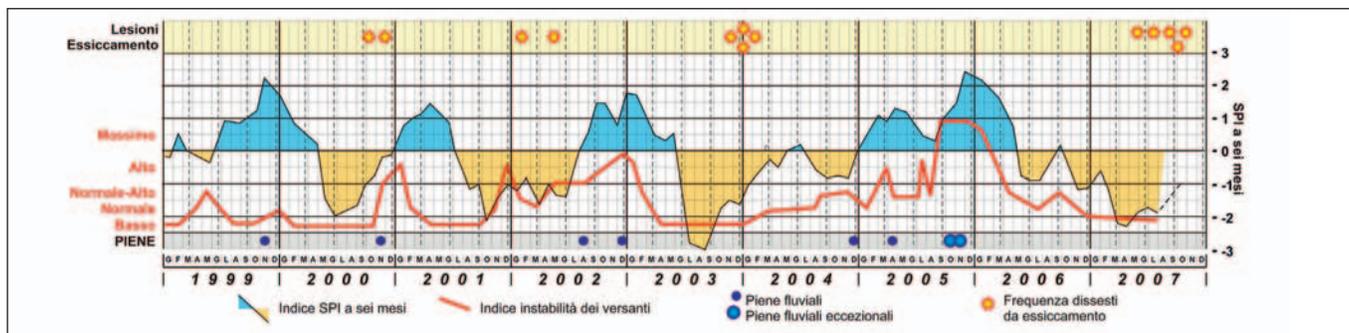


Figura 6 - Grafico riassuntivo con in evidenza l'indice SPI a sei mesi e gli indicatori del dissesto idrogeologico.

dall'indice SPI a sei mesi, ed i tre indici del dissesto idrogeologico (Figura 6).

Si può notare una buona correlazione tra l'indice SPI calcolato e le fasi acute del dissesto, anche considerando i periodi in cui si sono registrati i picchi nell'indice delle lesioni di essiccamento. Risultano in questo senso particolarmente interessanti e rappresentative le situazioni dell'Autunno-Inverno 1996, e soprattutto dell'Estate 2003 e dell'Autunno 2005. Ribadendo il carattere preliminare e qualitativo del presente studio e la difficoltà nel quantificare il dissesto idrogeologico, è emersa l'importanza dell'indice SPI come indicatore, che potrà essere meglio compresa con indagini più approfondite ed estese. Il cambiamento climatico è ben avvertibile a livello locale, dove si manifesta nell'aumento degli eventi estremi e soprattutto nell'aumentata frequenza e durata dei periodi estremamente siccitosi. Gli effetti sul dissesto si spiegano in attivazioni di fenomeni anche in situazioni non necessariamente estreme, evidenziando una sorta di effetto cumulativo probabilmente connesso all'alternarsi di periodi molto aridi e periodi molto piovosi relativamente ravvicinati. Una notevole importanza stanno assumendo i dissesti da essiccamento, dei quali vi sono poche documentazioni antecedenti al 1980 nel territorio considerato. Alcune evidenze mostrate da prove in sito hanno evidenziato come lo spessore che risente dei periodi siccitosi nei terreni a componente argillosa, la cosiddetta *active zone*, possa approfondirsi fino a superare i quattro metri di profondità (Figura 7).

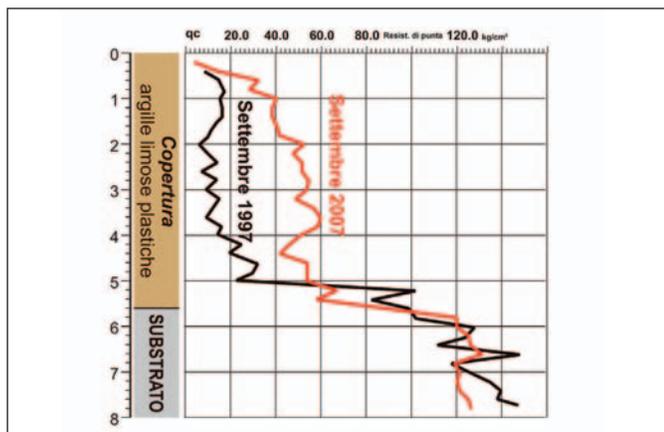


Figura 7 - Confronto tra i grafici della resistenza in punta di due prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite sulla stessa verticale nel settembre 1997 e nel settembre 2007. Si noti come l'effetto dell'essiccamento arrivi a oltre 4 metri di profondità.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., (2003) *Atlante climatico della Valle D'aosta*. Sms, Torino.
- AA.VV., (2006) *Cambiamenti climatici in Val D'aosta: opportunita' e strategie di risposta*. Sms Regione Autonoma Valle D'aosta. Torino.
- AA.VV., (2007) *Relazione sulla siccità 2006 – 2007 In Emilia Romagna*. Arpa Sim Servizio Idro Meteo Regione Emilia Romagna.
- AA.VV., (2007) *Siccità autunno 2006 inverno 2007: analisi delle risorse idriche della Regione Marche*. Centro Funzionale Multirischi per la meteorologia, l'idrologia e la sismologia della Regione Marche.
- Bordi I, Sutera A., (2001) *The analysis of the standardized precipitation index in the Mediterranean Area: large scale patterns*. Annali Di Geofisica, 44, 965-978
- Cacciamani C., Tomozeiu R., Morgillo A., Pavan V., Marchesi S., (2004) *Studio della variabilità climatica della siccità mediante l'analisi di alcuni indicatori meteo-climatici*. In *Siccità e desertificazione - I risultati dei progetti Interreg - Rimini*. Arpa Sim Servizio Idro Meteo Regione Emilia Romagna.
- Cacciatori G., Chiaudani A., Tridello G., Borin M., Salvan F., (2005) *Studio della siccità in Veneto negli anni 1961-2004: Spi (Standardized Precipitation Index)*. Agenzia regionale per la protezione e prevenzione ambientale del Veneto Unità operativa di Agro-Biometeorologia – Centro Meteorologico di Teolo.
- Giddings L., Soto M., Rutherford B.M., Maarouf A., (2005) *Standardized precipitation index zones for Mexico*. Atmosfera 2005 33-56.
- Guerra C. (2006) *Barburane, Galaverne E Nevoni. Storia e Storie della Repubblica di San Marino*. Segreteria di Stato al Territorio e Ambiente della Repubblica di San Marino. San Marino.
- Katz R. W., Glantz M. H., (1986) *Anatomy of a Rainfall Index* Monthly Weather Review, 114.
- Lyon B., (2004) *Enso and Spatial Extens of interannual precipitation extremes in Tropical Land Areas*, Journal of Climate.
- Lyon, B., (2004) *The strength of el Niño and the spatial extent of tropical drought*. Geophys. Res. Lett., 31.
- Marchi G., (1997) *Effetti delle variazioni stagionali di umidità dei terreni coesivi sui fabbricati con fondazioni superficiali*. Università di Ferrara, Ferrara.
- Mckee, T., N. Doesken, and J. Kleist. (1993) *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. 8<sup>th</sup> Conference on applied climatology, January 17–22, 1993, Anaheim, California, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- Mercalli L., (2000) - *Effetto serra e riscaldamento globale: conoscenze attuali, strategie future*. Nimbus 17-18:17-43.
- Morgillo, A. Brunetti, L. Salvati., (2002) *La siccità in Italia: spunti di discussione sul clima, sugli aspetti pedoclimatici e sul bilancio idrico*. Convegno Aiam 2002. *L'agrometeorologia nel Mediterraneo*, 6-7 Giugno 2002 Acireale.