

STIMA DEI DANNI FUTURI DERIVANTI DAL MANCATO
RISANAMENTO DI UN CENTRO ABITATO IN CONSEGUENZA DI
UN ACCERTATO DISSESTO IDROGEOLOGICO:
IL CENTRO STORICO DI TIVOLI***

sommario

La decisione se procedere o meno ad un intervento, sia esso di risanamento che più in generale di opera pubblica, è basata sulle così dette analisi economiche. La comunicazione prende in esame il centro storico di Tivoli, oggetto di gravi dissesti idrogeologici, e tramite analisi per maglie campione si valuta l'entità economica del degrado.

Successivamente, classificati i danni del passato secondo una serie storica, quest'ultima viene interpretata con procedimento stocastico autoregressivo lineare del primo ordine (del tipo noto come catena di Markov).

Da tale analisi sono stati tratti gli elementi per poter estrapolare il procedimento markoviano per la stima della tendenza dell'entità economica dei danni dal 1995 al 2028.

summary

The decision about realizing an intervention, being it of repairing type or, more generally, of public work, is based on the so-called economic analyses. This paper examines the historical center of Tivoli, subject to a grave hydrogeological derangement, and through the analysis on sample mesh it values the economical dimension of the damage.

Then, classified the past damage according to a historical series, this last one is interpreted through a linear self-regressive stochastic proceeding of the first order (of the type known as Markov Chain).

* IDROStudi-S.A.S.O.P. srl Pescara

** Istituto di Idraulica - Facoltà di Ingegneria - Università di Ancona

*** Il presente lavoro nonché le indagini, le esplorazioni del sottosuolo, le ricerche storiche, i sondaggi geognostici ecc.. sono stati eseguiti, tutti, a cura e spese della IDROStudi -S.A.S.O.P. srl di Pescara

From this analysis the elements for the extrapolation of the Markovian proceeding for the valuation of the trend of the economical dimension of the damage from 1995 to 2028 are drawn.

1. Generalità

Da tempo la decisione se procedere o meno ad un intervento sia esso di risanamento che più in generale di opera pubblica è basata sulle così dette analisi economiche, cioè sull'analisi costi-benefici. È noto come queste devono in genere affrontare due diverse situazioni:

- analisi economica nel caso di intervento;
- analisi economica nel caso di non intervento;

e studiare i costi ed i relativi benefici in entrambi i casi.

Il presente articolo vuole dare un contributo circa la stima dei costi e dei danni, che si possono verificare in un centro abitato, sottoposto ad un continuo degrado idrogeologico, seppure di origine antropica, nell'ipotesi di non intervento.

L'analisi fa riferimento al centro storico di Tivoli, che gli Autori conoscono con grande precisione, avendone esplorato il sottosuolo tramite il rilievo di oltre 40 cunicoli.

Sono state redatte una serie di carte tematiche (preesistenze archeologiche, mappatura delle reti idriche, fognarie, elettriche e telefoniche, del complesso sistema di canali e di cunicoli) che interessano la porzione Nord dell'abitato nel verso da Est (bacino di S. Giovanni sull'Aniene) a Ovest (da villa d'Este a sud alle cascatelle di Vesta a Nord) nonché la mappatura dei fenomeni di crisi verificatesi nel passato.

Sulle stesse mappe il centro storico di Tivoli è stato discretizzato tramite 215 maglie quadrate, ciascuna di 1500 m².

2. I parametri a base della stima

I beni considerati oggetto della stima, in quanto i più vulnerabili ai dissesti, sono:

- a) patrimonio edilizio;
- b) infrastrutture stradali;
- c) condotte fognarie (ed altri sottoservizi quali acquedotti, valutati come percentuale del valore delle condotte fognarie).

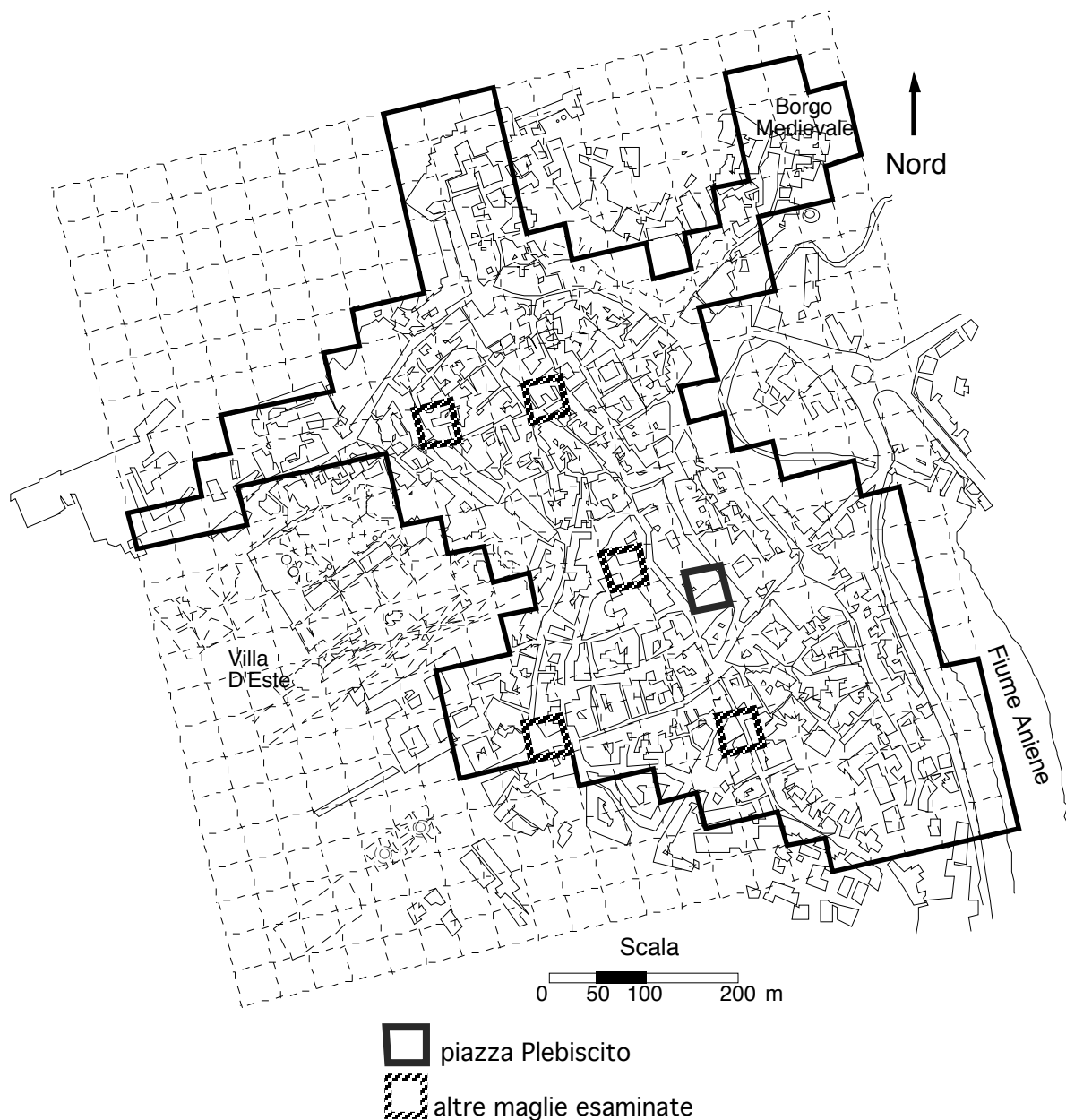


Tavola I - Rappresentazione del centro storico di Tivoli e discretizzazione in maglie

Non essendo possibile procedere ad un'analisi dettagliata del danno economico derivante dal dissesto di ciascuna maglia, data la loro copiosità, si è provveduto all'esame di alcune maglie campione, che sono state ritenute più significative.

a) Patrimonio edilizio

I fabbricati del centro storico tiburtino sono tutti risalenti ad epoche alquanto remote, ed hanno pertanto un considerevole valore storico ed artistico. A seguito di indagini di mercato, circa i prezzi delle compravendite degli edifici tiburtini degli

ultimi anni, è stato possibile individuare un valore unitario medio del patrimonio edilizio.

b) Infrastrutture stradali

Le strade del centro storico di Tivoli sono pavimentate con cubetti di porfido intercalati da blocchetti di travertino, secondo vari disegni (ora in gran parte persi a causa di lavori non rispettosi del contesto storico). Il valore della pavimentazione stradale è stata determinata sulla base del suo costo di costruzione.

c) Condotte fognarie ed altri sottoservizi

La stima del valore delle condotte fognarie è risultata alquanto difficile, essendo molto varia la natura dei collettori fognari risalenti alle epoche più disparate. Si è pertanto fatto ricorso non al valore stesso delle fognature esistenti, bensì al loro costo di ricostruzione includendo l'incidenza dei pozzetti di vario tipo; il valore così ottenuto è stato poi aumentato del 20% per tener conto della presenza degli altri sottoservizi.

In definitiva, i valori alla base delle stime seguenti sono:

Tab. I - Valori unitari dei beni			
a)	Edifici	1.310.000	£/m ²
b)	Strade	80.664	£/m ²
b)	Fognature ed altri sottoservizi	135.720	£/m

L'individuazione dei parametri danneggiati dai dissesti di ciascun elemento della maglia ha permesso di tradurre il danno derivante da crolli, voragini e cedimenti in lire, secondo il valore economico assunto.

Nella stima economica del danno sono stati adottati opportuni coefficienti K_1 aventi lo scopo di considerare le conseguenze che il danno subito da uno o più dei tre beni a), b), c) può provocare sulla funzionalità ed agibilità delle aree interessate.

I coefficienti usati sono:

K_1	=	1.0	nessun disagio indotto
K_2	=	1.2	lievi disagi indotti
K_3	=	1.5	gravi disagi indotti
K_4	=	1.8	gravissimi disagi indotti

I dissesti degli edifici sono stati catalogati secondo due classi di gravità:

Tab. II - Classe di gravità dei dissesti	
CLASSE di GRAVITA'	INDICAZIONE DELLE MISURE DA ADOTTARE
1	Necessari lavori immediati di salvaguardia della pubblica incolumità
2	Opportuna l'adozione di misure amministrative di salvaguardia della pubblica incolumità

Le maglie campioni sono state scelte e tra quelle per le quali si è già manifestato il dissesto con la presenza di crolli, aperture di voragini ecc... e tra quelle per le quali, sulla base delle indagini effettuate, un dissesto è da ritenersi molto probabile in tempi brevi, e quindi trattasi di dissesti “potenziali”.

Le maglie campione, con riferimento alla tavola I, sono le seguenti:





n° della maglia	Indicazione toponomastica
67	palazzo Coccanari
70	piazza Taddei
119	piazza del Governo
132	piazza Plebiscito
166	piazza S. Croce
191	piazza S. Vincenzo

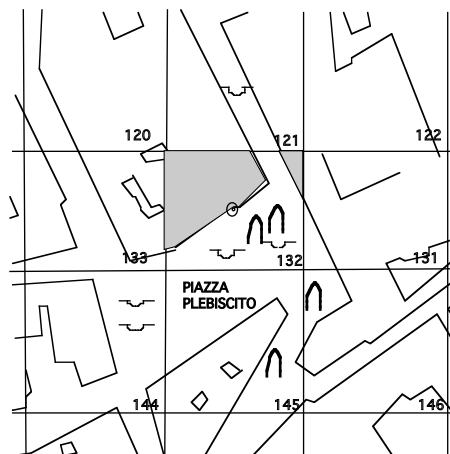
Si è definito danno grave quello per il quale l'entità del danno stesso è compresa tra il 15 ed il 25% del valore della maglia; si è ritenuto danno molto grave quello per il quale si ha un incidenza sul valore della maglia superiore al 25%.

E' stato possibile in questo modo determinare, effettuando una media pesata come specificato nel paragrafo successivo, “*il costo medio del danno molto grave*” ed il “*costo medio del danno grave*”.

3. Stima del danno per una maglia campione

Qui di seguito è riportata quale esempio la stima del danno relativo alla maglia campione n°132 comprendente piazza Plebiscito, di cui a lato è riportato uno stralcio planimetrico.

-  Dissesto sul palazzo
-  Dissesto della pavimentazione stradale
-  Cunicolo sotterraneo
-  Edifici

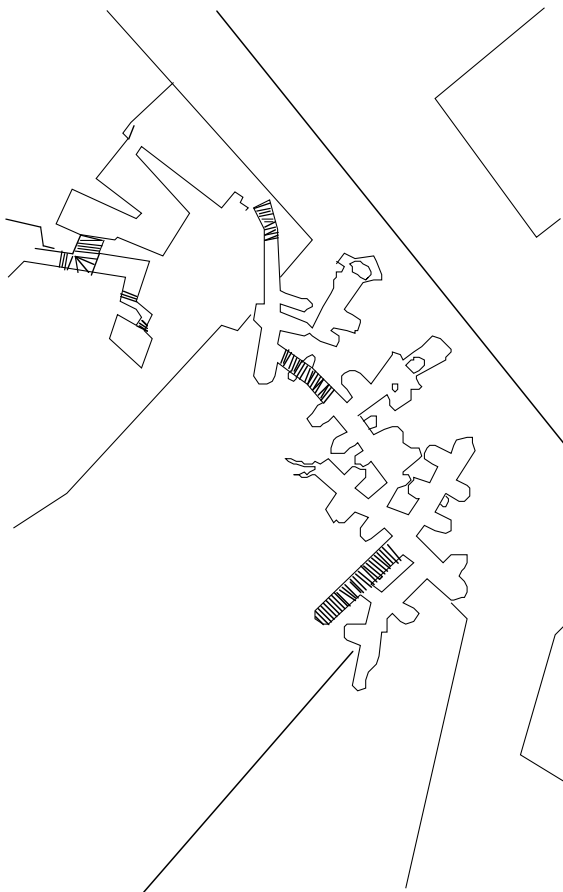


Tav. II - Particolare della tavola I

La tabella che segue riporta gli elementi metrici delle strutture edilizie e delle infrastrutture e la stima del valore della maglia.

Tab. III - Stima del patrimonio edilizio				
PARAMETRI	Unità di misura	Quantità	Valore elementare (£)	Valore della maglia (milioni di £)
Patrimonio edilizio	m ²	1268,0	1.310.000	1.660,43
Infrastrutture stradali	m ²	1078,0	80.664	86,92
Infrastrutture fognarie	m	120,5	135.720	16,35
VALORE TOTALE DELLA MAGLIA				1.763,69

Nel sottosuolo di piazza del Plebiscito sono presenti diverse cavità sotterranee, con cunicoli che si sovrappongono a vari livelli, strade e palazzi sono in uno stato di generale precarietà, anche se i danni attuali sono ancora meno ingenti rispetto a quelli già verificatisi in altre zone del centro storico di Tivoli.



Allo stato attuale, si è ritenuto compromesso non più di un 15÷20% del patrimonio edilizio della zona, ma appare evidente ed indispensabile la necessità di un intervento di consolidamento del sottosuolo.

La situazione delle tubazioni è estremamente precaria, con copiose perdite ed infiltrazioni.

Tav. III - Cunicolo tipico, nel sottosuolo di piazza Plebiscito

La tabella che segue riporta la quantizzazione dei danni; ne risulta un rapporto danno/valore = $\frac{272,58}{1763,69} = 0,15$ corrispondente ad un danno che, sulla base della definizione di cui in precedenza, viene definito grave.

Tab. IV - Stima dei danni				
Elementi della maglia	Valore della maglia (milioni di £)	Percentuale del danno	Coefficiente correttivo Ki	Entità economica del danno (milioni di £)
Patrimonio edilizio	1.660,43	10,00%	1,0	166,04
Infrastrutture stradali	86,92	100,00%	1,0	86,92
Infrastr. nel sottosuolo	16,35	100,00%	1,2	19,63
TOTALI	1.763,69			272,58

4. Risultanze della stima dei danni e definizione del danno medio

La tabella che segue riporta in sintesi le elaborazioni precedenti per le sei maglie campione

Tab. V - Riepilogo dei danni per le maglie campione					
Maglia n°	Valore della maglia (milioni di £) Vi	Entità del danno (milioni di £)	Valore attuale (milioni di £)	Perdita di valore % Pi	Classificazione del danno
67	4.287,36	1.909,98	2.377,38	44,55%	molto grave
70	2.673,77	399,67	2.274,10	14,95%	grave
119	2.587,89	368,2	2.219,69	14,23%	grave
132	1.763,69	272,58	1.491,11	15,46%	grave
166	3.394,75	1.757,57	1.637,18	51,77%	molto grave
191	4.034,13	1.069,42	2.964,71	26,51%	molto grave

la media pesata dei tali valori eseguita separatamente per danno grave e per danno molto grave, determinerà nei due casi la percentuale media del danno.

Indicando con P_m la percentuale media e con C_m il costo medio dei danni avremo:

a) per danno molto grave

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^3 V_i P_i}{\sum_{i=1}^3 V_i} = 40,43\% \quad C_m = P_m * \frac{\sum_{i=1}^3 V_i}{(3 * 100)} = 1578,99 \text{ milioni di}$$

lire

b) per danno grave

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^3 V_i P_i}{\sum_{i=1}^3 V_i} = 14,81\% \quad C_m = P_m * \frac{\sum_{i=1}^3 V_i}{(3 * 100)} = 346,82 \text{ milioni di}$$

lire

Dunque, per un generico elemento di maglia, di superficie pari a 1500 m² varranno i seguenti parametri economici.

Tab. VI - Valori medi assoluti e percentuali dei danni subiti dalle maglie		
Tipologia del danno	Entità del danno sul valore della maglia %	Entità economica media del danno su una maglia (milioni di £)
molto grave	40,43	1578,99
grave	14,81	346,82

5. Evoluzione storica del dissesto

La tabella VII riporta la serie cronologica dei dissesti dal 1983 al 1991, la prima colonna riporta un numero ordinale, richiamato nella tabelle successive.

Le tabelle VIII e IX riportano, rispettivamente, la situazione dei crolli e dei dissesti molto gravi e gravi, verificatesi nel passato, i numeri tra parentesi sono i riferimenti alla tabella VII.

I dissesti di tabella VII, per i quali non è stata possibile una catalogazione economica simile a quella fatta per le maglie campione, sono stati definiti molto gravi se esisteva o l'ordinanza di sgombero, o segnalazioni alla Prefettura ed alla Protezione Civile, o sono stati eseguiti interventi di ripristino, ecc.

Tab. VII- Cronologia dei dissesti			
n°	Località	Danno	Anno
1	Crollo palazzo a p.zza S. Croce	MG	1983
2	Lesioni gravi all'Ospedale	G	1983
3	Voragine via S. Viola	G	1983
4	Sfornellamento sottosuolo p.zza Rivarola	G	1983
5	Avvallamento via del Pilaro	G	1983
6	Crollo a p.zza Plebiscito	G	1984
7	Avvallamento p.zza Seminario	G	1984
8	Crollo via Campitelli	G	1984
9	Lesioni chiesa S. Vincenzo	G	1984
10	Lesioni edificio p.zza Rivarola	G	1984
11	Voragine via S. Valerio	MG	1985
12	Crollo via Palatina	G	1985
13	Sfornellamento via della Missione	G	1985
14	Lesione edificio via Giuliani	G	1985
15	Avvallamento via della Missione	G	1985
16	Voragine p.zza S. Nicola	MG	1986
17	Voragine p.zza S. Vincenzo	MG	1986
18	Crollo via del Trevio	MG	1986

Tab. VII- Cronologia dei dissesti (segue)			
n°	Località	Danno	Anno
19	Voragine p.zza del Governo	MG	1986
20	Avvallamenti via Parmegiani	G	1986
21	Sfornellamento p.zza delle Erbe	G	1987
22	Lesioni Palazzo Torlonia	MG	1987
23	Lesioni e dissesti Palazzo Coccanari	MG	1987
24	Lesioni nei palazzi di p.zza Taddei	MG	1987
25	Avvallamenti via della Carità	G	1987
26	Lesioni edificio in via Tani	G	1987
27	Lesioni edificio in via del Colle	G	1987
28	Lesioni edificio in via dei Sosi	G	1987
29	Lesioni scuola elementare via Colsereno	G	1987
30	Voragine via del ponte Gregoriano	MG	1988
31	Lesioni edificio palestra Marranti	G	1988
32	Avvallamento vicolo S. Vincenzo	G	1988
33	Lesioni edificio via della Sibilla	G	1988
34	Lesioni edificio via del Trevio	G	1988
35	Lesioni al palazzo Baja	G	1988
36	Avvallamenti in via Palatina	G	1989
37	P.zza S. Vincenzo (sottosuolo, nuovi crolli)	G	1990
38	P.zza S. Nicola (rottura fognatura)	G	1990
39	Voragine in via Palatina	MG	1990
40	Ulteriore voragine in via Palatina	MG	1990
41	Dissesti pavimentazione stradale maglia 154	G	1990
42	Lesioni Giardini Garibaldi (muro di sostegno)	MG	1991

Tab. VIII - Dissesti molto gravi							
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
(1)	-	(11)	(16)	(22)	(30)	-	(39)
-	-	-	(17)	(23)	-	-	(40)
-	-	-	(18)	(24)	-	-	-
-	-	-	(19)	-	-	-	-
1	0	1	4	3	1	0	2

Sono stati catalogati come danni gravi quelli per i quali si è avuta segnalazione al Comune da parte dei cittadini od altra documentazione senza che sia poi seguito nessun provvedimento amministrativo.

Tab. IX - Dissesti gravi							
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
(2)	(6)	(12)	(20)	(25)	(31)	(36)	(39)
(3)	(7)	(13)	(21)	(26)	(32)	-	-
(4)	(8)	(14)	-	(27)	(33)	-	-
(5)	(9)	(15)	-	(28)	(34)	-	-
-	(10)	-	-	(29)	(35)	-	-
4	5	4	2	5	5	1	1

L'ultimo rigo di entrambe le tabelle precedenti contiene il numero dei casi verificatisi nell'anno.

Nel dicembre 1990 e nei primi mesi del 1991 si è manifestato un aggravamento generali nei cunicoli ed il Comune ha dovuto disporre la chiusura al traffico dell'intero centro storico.

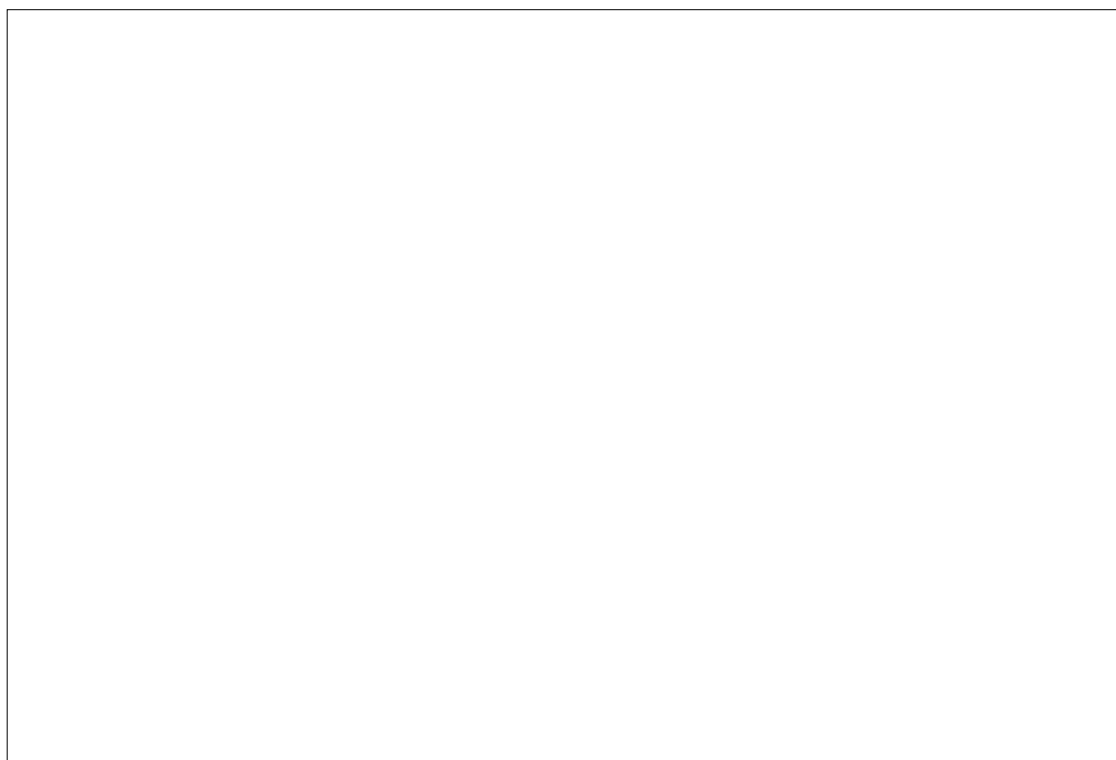
6. Dissesti attesi

Lo strumento adottato per la previsioni dei danni che si possono verificare nel futuro, più o meno prossimo, è quello delle proiezioni stocastiche tramite le catene di Markov. Allo scopo è necessaria l'analisi delle serie storiche degli eventi calamitosi verificatisi nel passato. Come si è visto non si dispongono in maniera soddisfacente di dati precedenti il 1983, pertanto al fine di ottenere una curva di rischio attendibile è stato necessario integrare i dati sopra riportati con le previsioni a breve termine, cioè solo entro il 1994, conseguenze dirette di rilevamenti effettuati nel sottosuolo.

Infatti da tali rilevamenti risultano i dati della tabella seguente tramite i quali è possibile risalire a condizioni di rischio "a breve".

Tab. X - Sintesi dei rilievi nei cunicoli		
Cunicoli accertati	n°	54
Cunicoli rilevati	n°	42
Cunicoli con infiltrazioni d'acqua	n°	22
Cunicoli con dissesti	n°	36
Aliquota cunicoli dissestati	%	86
Cunicoli con dissesti gravi	n°	7
Aliquota cunicoli gravemente dissestati	%	16
Lunghezza totale cunicoli rilevati	m	4000
Densità dei cunicoli	<u>cunicoli</u> ha	2.8

Dai dati di cui sopra, tenendo conto che l'area in esame ha una estensione di 30 ha se ne deduce uno sviluppo complessivo di cunicoli di circa 8400 m dei quali: 5500 m con dissesti e 1344 m con dissesti gravi (quali sfornellamenti, avallamenti, crolli, ecc.) che coinvolgono, o stanno per farlo, edifici e pavimentazioni stradali ecc.



I cunicoli rilevati interessati da crolli pressoché imminenti (nell'arco di 2 o 3 anni) sono in numero di 17.

Infatti tenendo conto che lo sviluppo complessivo dei cunicoli danneggiati è di 1344 m e che ogni manifestazione è di circa 20 m, il numero di possibili dissesti nell'arco di un decennio è di $\frac{1344}{20} = 67$. Da qui una media di 6.7 dissesti/anno.

Considerando poi che tali danni tenderanno a disporsi nel tempo con legge crescente dall'inizio alla fine del decennio, possono ragionevolmente essere messi in conto per i prossimi 3 anni appunto 17 nuovi dissesti.

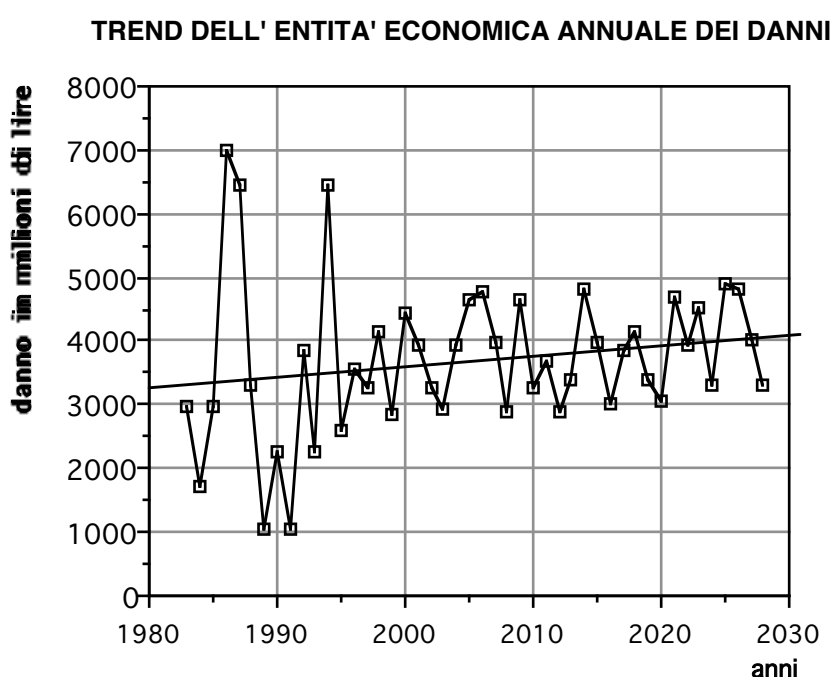
Nella tabella che segue sono riportati, nella colonna (b), i dissesti verificatisi dal 1983 al 1994¹ con le relative quantificazioni economiche, colonne (d) (e) ed (f) effettuate sulla base dei valori medi ricavati come nel paragrafo 4.

¹ Beninteso che per il periodo 1993-94 trattasi delle estrapolazioni di cui in precedenza

Tab. XI - Proiezione stocastica dell'entità del danno							
Anni	Danni molto gravi	Danni gravi	Danno economico	Somma dei danni tendenza	Somma dei danni Σ (d)	Tendenza di colonna(e) dati attuali	Scarti dalla tendenza di colonna (e)
a	b	c	d	e	f	g	h
1983	1	4	2959	2959	2959	3723	-764
1984	0	5	1725	4684	4684	7079	-2395
1985	1	4	2959	7643	7643	10436	-2793
1986	4	2	7006	14649	14649	13792	857
1987	3	5	6462	21111	21111	17148	3963
1988	1	5	3304	24415	24415	20504	3911
1989	0	3	1035	25450	25450	23861	1589
1990	1	2	2269	27719	27719	27217	502
1991	0	3	1035	28754	28754	30573	-1819
1992	2	2	3848	32602	32602	33929	-1327
1993	1	2	2269	34871	34871	37286	-2415
1994	3	5	6462	41333	41333	40642	691
1995			2605	44759	43938		
1996			3544	47509	47482		
1997			3279	51510	50761		
1998			4137	53710	54898		
1999			2845	57361	57742		
2000			4437	60610	62180		
2001			3958	64632	66138		
2002			3269	67217	69407		
2003			2944	70595	72350		
2004			3952	75138	76302		
2005			4638	77292	80941		
2006			4771	80323	85712		
2007			3977	84406	89689		
2008			2904	88064	92592		
2009			4660	90634	97252		
2010			3268	95274	100520		
2011			3675	97391	104195		
2012			2901	101907	107096		
2013			3390	103987	110486		
2014			4799	107289	115285		
2015			3975	110681	119259		
2016			3024	114614	122284		
2017			3865	117723	126149		
2018			4129	120634	130278		
2019			3400	125198	133678		
2020			3044	128040	136721		
2021			4697	131250	141418		
2022			3935	135115	145353		
2023			4528	138595	149881		
2024			3324	141828	153205		
2025			4910	144085	158116		
2026			4828	148919	162943		
2027			4030	150855	166973		
2028			3324	154560	170298		

Le colonne (e) e (g) contengono la stima fatta con procedimento autoregressivo, lineare del primo ordine (noto come catena di Markov) dei valori della somma temporale dell'entità economica dei danni.

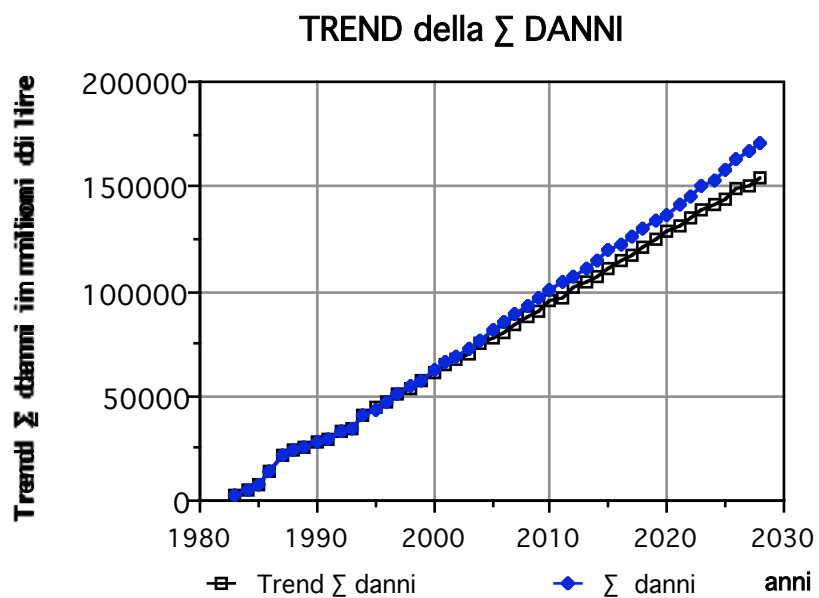
La colonna (h) è servita per calcolare gli scarti tra valori della catena di Markov, colonna (e), e quelli di colonna (g), al fine della valutazione della varianza, onde poter estrapolare il procedimento markoviano anche per la stima della tendenza dell'entità economica del danno dal 1995 al 2028. Quest'ultima è graficizzata nel diagramma seguente dal quale è evidente l'entità crescente dei danni.



Il successivo grafico mostra invece la tendenza sino al 2028 della somma complessiva dei danni.

Sono state graficizzate due linee, una dedotta dal trend dei valori dal 1983 al 1994 di colonna (e), l'altra è invece ottenuta come somma dei danni annuali di cui al grafico precedente (peraltro anche tali ultimi ottenuti con una catena di Markov).

E' evidente, comunque, che qualsivoglia sia il metodo per la stima dell'entità dei danni, al 2028 essi saranno nel caso di assenza di adeguati interventi, almeno di 150 miliardi di lire.



Tenuto ora conto che il valore economico medio di una maglia di Tivoli è di 3121 milioni (pari a circa 2 milioni/m²), segue che al 2028 avremo che il dissesto avrà interessato circa 48 maglie, cioè ben il 22% dell'intero patrimonio immobiliare di Tivoli.