

IL RUOLO DELLA GEOMORFOLOGIA NELLA TUTELA DELLA TORRE PENDENTE DI VERNAZZANO (UMBRIA)

Carlo Cattuto¹, Ermanno Gambini² & Lucilia Gregori³

¹Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Perugia, cattuto@unipg.it; lucilia@unipg.it

²Dipartimento di Filosofia linguistica e Letterature - Università degli Studi di Perugia

RIASSUNTO: C. Cattuto, E. Gambini & L. Gregori, *Il ruolo della geomorfologia nella tutela della Torre pendente di Vernazzano (Umbria)*. (IT ISSN 0394-3356, 2007).

Lungo il versante a oriente del Lago Trasimeno, presso la confluenza di due torrenti (F.so Tegone e T. Rio), si trovano i ruderi di un castello medievale del quale è rimasta pressoché intatta soltanto la torre di guardia; a causa della sua vistosa inclinazione, questo possente elemento architettonico è noto come la Torre pendente di Vernazzano.

Gli insediamenti del Castello (case, chiese, mura, ecc.) sono stati progressivamente raggiunti e portati alla distruzione dai fenomeni franosi che hanno accompagnato la profonda e rapida incisione del F.so Tegone e del T. Rio entro la potente pila di "Arenarie del Trasimeno", affioranti nel territorio come strati e banchi di arenarie e di calcareniti caratterizzati da un elevato grado di fratturazione. La rapida evoluzione dei versanti ha ridotto il vasto piano fondale del Castello ad un'esigua superficie, limitata da un'alta scarpata verticale, continuamente ridotta da crolli lungo tutto il suo bordo.

Anche la Torre pendente è stata raggiunta dalla nicchia di distacco di un'ampia frana e la sua inclinazione deriva dallo scivolamento e dal collasso della fondazione entro la pila litoide, progressivamente disarticolata dai fenomeni franosi.

Come intervento di "primo soccorso", per evitare il crollo rovinoso della Torre, è stato realizzato un sistema di ancoraggio, mediante gabbia d'acciaio e tiranti, ma si dovrà intervenire anche sul piano fondale della Torre pendente (ancora ignoto), sul drenaggio delle acque dall'intera superficie e sulla riduzione dell'erosione al piede del versante.

ABSTRACT: C. Cattuto, E. Gambini & L. Gregori, *The role of geomorphology in the conservation of the leaning Tower of Vernazzano (Umbria)*. (IT ISSN 0394-3356, 2007).

In the eastern side of the Trasimeno Lake, near the confluence between Tegone and Rio Streams, lie the ruins of a medieval castle of which only the guard tower remains almost intact. Because of its visible inclination this mighty architectural feature is known as the leaning Tower of Vernazzano.

The castle premises (houses, churches, walls, etc.) have been progressively affected and destroyed by the landslide processes associated with the deep and rapid erosion of the Tegone and Rio streams within the thick layer of "Arenarie del Trasimeno" sandstone, surfacing as highly fractured layers and beds of sandstone and calcarenites.

The fast evolution of the slopes has reduced the large foundation plane of the Castle to a small surface, delimited by a high vertical escarpment continuously reduced by rockfalls along its whole edge.

On top of the above surface activity, deeper and more complex landslide processes are present which – together with the rotational displacements in the rock – have been affecting the North-Eastern part of the relief supporting the leaning Tower.

Downstream of this structure, even though at a significant distance, lies a disordered pile of stones, eradicated trees, and layers and blocks of rock sloping down into the bed of the Rio torrent. The movement of this aggregate doesn't occur as a whole, but happens through rockfalls and landslides occurring at different moments and locations. This alternates with periods of comparative stability, to the point that a path leading to the Tower lies over the pile, even though it often gets interrupted or dragged downstream.

This landslide event appeared localized and ascribable to the stream erosion at the base of a detritic cone. The geomorphologic study of the area, instead, has shown that the landslide is the surface manifestation of deeper and more complex landslides that can be regarded as rotational displacements in rock. Such displacements have eventually reached the foundation zone of the leaning Tower, triggering planar sliding phenomena which led the Tower to lose its verticality, leaning in the directions of the strata.

As a first-aid measure to prevent the collapse of the Tower, an anchorage system consisting of a steel cage and tie rods was deployed, but in the future it will be necessary to work on the (still unknown) foundation plane of the Tower, on draining water from the entire surface and on reducing the erosion at the base of the slope.

Parole chiave: Geoarcheologia, Geomorfologia, Reticolo idrografico, Umbria, Lago Trasimeno.

Keywords: Geoarcheology, Geomorphology, Hydrographic pattern, Umbria Region, Trasimeno Lake.

INTRODUZIONE

Circa 200 m a NW del piccolo centro abitato di Vernazzano, in Comune di Tuoro sul Trasimeno (PG), si trovano i resti di un antico castello tra i quali spicca un'alta torre vistosamente inclinata verso NE (Fig. 1) e perciò comunemente indicata e nota come la "Torre pendente" di Vernazzano.

L'area è stata studiata, dal punto di vista storico e geologico (CATTUTO C. & GAMBINI E., 2002), ipotizzando le cause che hanno condotto alla distruzione del

castello e alla progressiva perdita della verticalità della Torre. Sulla base di questi studi è stato realizzato un progetto per la messa in sicurezza di questa importante testimonianza del passato.

CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE GENERALI

L'area d'interesse, ubicata lungo il versante a oriente del L. Trasimeno, comprende parte del versante sudoccidentale del M. Castiglione (Fig. 2) ed è solcata

da due corsi d'acqua, il F.so Tegone e il T. Rio, che confluiscono nei pressi del vecchio centro abitato di Vernazzano.

La Torre pendente si colloca a Nord della confluenza tra i due corsi d'acqua (Fig. 3), sopra un rilievo la cui sommità risulta "spianata", poco sopra l'isoipsa dei 375 m, da fenomeni di dubbia interpretazione. E' probabile che detta superficie sia riferita ad antichi fenomeni erosivi del ciclo fluviale della valle del Trasimeno (CATTUTO C. *et alii*, 1992) e che quindi si identifichi, in larga misura, come terrazzo orografico, prodotto dalla tettonica e dal conseguente adattamento del reticolo idrografico locale (Fig. 4). La stessa superficie, tuttavia, è stata modellata, almeno in parte, per esigenze agricole e per necessità di insediamento.

La profonda incisione operata dal F.so Tegone e dal T. Rio ha provocato la rapida regressione dei loro versanti al punto che, attualmente, la superficie spianata sulla quale sorge la Torre pendente è limitata da una netta scarpata praticamente verticale.

Particolarmente energica risulta l'erosione del T. Rio che, nel tratto compreso tra i 300 e i 500 m s.l.m., sta ancora incidendo il "gradino", corrispondente alla superficie spianata sulla quale era edificato il castello, prodotto da una faglia diretta (Fig. 4).

CONDIZIONI GEOLOGICHE GENERALI

Nell'area in questione affiorano le "Arenarie del Trasimeno", arenarie quarzose feldspatiche micacee alternate con argille e marne, considerate torbiditiche ad "affinità toscana" (BOSCHERINI A. *et alii*, 1982 ; DAMIANI A.V. & PANNUZI L, 1985), che si presentano in banchi di notevole potenza, assetto monoclinale e immersione nordorientale.

Mentre lungo il versante sinistro del F.so Tegone gli strati sono a reggipoggio, lungo il versante destro del T. Rio, il generale andamento a franapoggio (Fig. 5) è localmente modificato dalla presenza di pieghe a stretto raggio e, soprattutto, dalla sconnessione delle rocce provocata da movimenti franosi (Fig. 6). Spesso inoltre, si rileva un assetto decisamente caotico degli strati, mentre alcune faglie dirette di modesto rigetto dislocano il versante "gradonandolo" fin quasi al Lago Trasimeno.

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

Per comprendere l'evoluzione dei versanti del rilievo sul quale si trova la Torre pendente, si ricorda che:

- Le rocce in affioramento sono in prevalenza carbonatiche e



Fig. 1 - La Torre pendente di Vernazzano in Comune di Tuoro sul Trasimeno.

The Leaning Tower of Vernazzano in Tuoro sul Trasimeno.

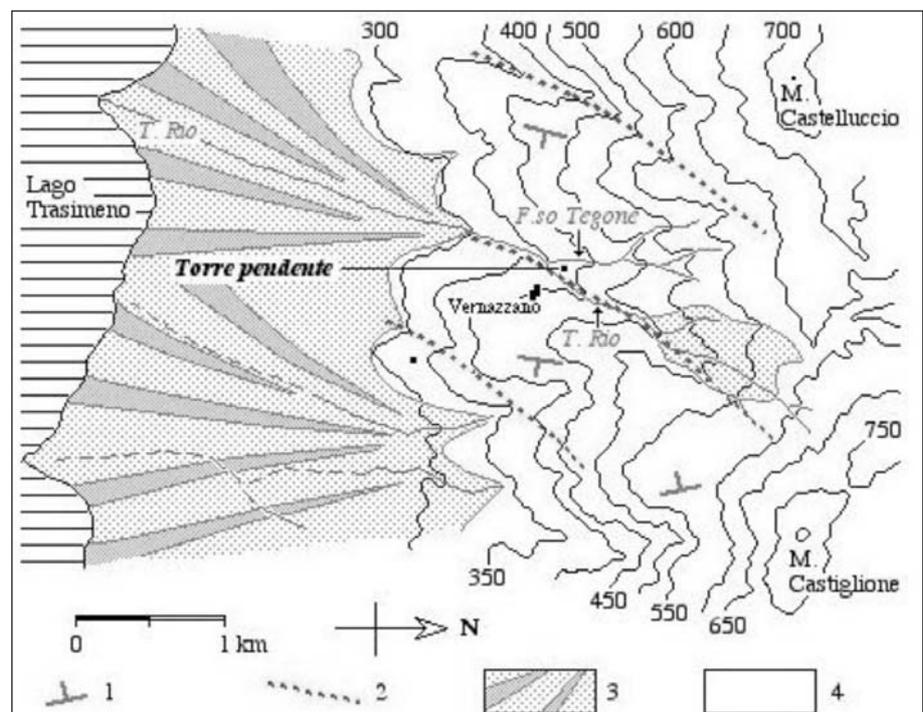


Fig. 2 - Cartografia geologica schematica dell'area della Torre pendente: 1. Direzione/immersione degli strati, 2. Faglia diretta di modesto rigetto, 3. Depositi clastici di copertura (detrito di falda, colluvioni, alluvioni), 4. Basamento litoido costituito dalle "Arenarie del Trasimeno" (Oligocene superiore - Burdigaliano medio).

Schematic geological map of the Leaning Tower area: 1. Strike and dip of the strata, 2. Normal Fault, 3. Clastic deposits (debris, colluvium and alluvial), 4. Bedrock composed of "Arenarie del Trasimeno" (Upper Oligocene - Middle Burdigalian).

affette da un elevato grado di fratturazione; infatti le arenarie, e ancor più le calcareniti la cui potenza nei banchi supera spesso il metro, in virtù della loro

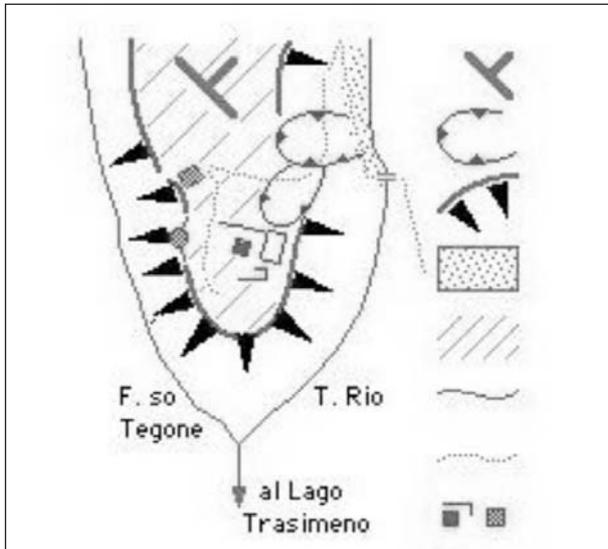


Fig. 3 - Schema geomorfologico dell'area della Torre: 1. Direzione/immersione strati, 2. Frana, 3. Scarpata, 4. Deposito colluvio-alluvionale, 5. Superficie spianata, 6. Corso d'acqua, 7. Sentiero, 8. Manufatto.

Geomorphological scheme of the Leaning Tower area: 1. Strike and dip of strata, 2. Landslide, 3. Escarpment, 4. Colluvial and alluvial deposits, 5. Flattened surface, 6. Stream, 7. Path, 8. Artifact.

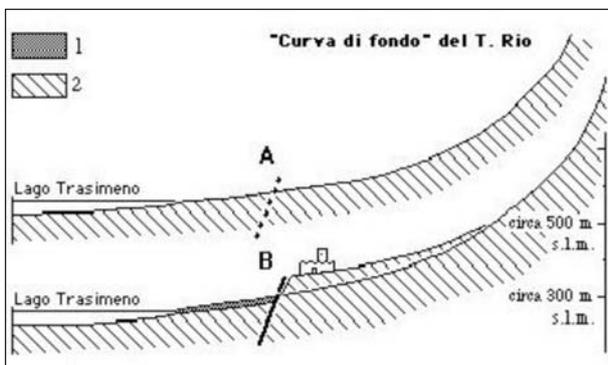


Fig. 4 - Schema morfoevolutivo del versante orientale del Lago Trasimeno e relazione con i processi erosivi dei corsi d'acqua che lo alimentano: 1. Depositi colluvio-alluvionali, 2. Bedrock marnoso arenaceo,

A. Faglie dirette di modesto rigetto intercettano il profilo dei corsi d'acqua incrementando i dislivelli locali, B. Questo evento provoca il "ringiovanimento" del ciclo erosivo dei corsi d'acqua che, ancora oggi, incassano profondamente nel bedrock il loro alveo; a quote ricorrenti restano superfici spianate utilizzate per l'agricoltura e gli insediamenti.

Morpho-evolutionary scheme of the Eastern side of the Trasimeno lake, and relation to the erosional processes driven by feeder streams: 1. Colluvium and alluvial deposits, 2. Bedrock (marls and sandstones),

A. Normal faults with small throw cross the path of water streams, increasing local height differences, B. This event causes the "rejuvenescence" of the erosional cycle of water streams which - still today - carve their channel deeply into the bedrock. At specific heights there are flattened surfaces used for agriculture and settlement.

durezza e fragilità, sono intensamente fratturate al punto che, a luoghi, il complesso litoide, almeno nell'area d'indagine, può essere assimilato ad un mezzo semicoerente e/o incoerente (Fig. 6);

- I giunti di strato sono segnati dalla presenza di veli argillitici e da marne fogliettate che spesso costituiscono non solo una superficie di discontinuità, ma anche un piano di possibile e facile scivolamento. Solo raramente, infatti, i giunti di strato sono interessati da ondulazioni e strutture sedimentarie (ripple marks, flute casts, ecc.) in grado di conferire loro "scabrezza" e, quindi, incremento della resistenza allo scorrimento;
- La presenza del Lago Trasimeno determina elevati valori annui dell'umidità relativa e questa, sui corpi litici molto fratturati e relativamente freddi, dà luogo a "precipitazioni occulte" in grado di incrementare l'infil-



Fig. 5 - Il colle sul quale si erge la Torre pendente è limitato da un'alta e ripida scarpata che evidenzia gli strati e i banchi delle "Arenarie del Trasimeno".

The hill over which the leaning Tower lies is limited by a tall and steep escarpment that highlights the strata of the "Arenarie del Trasimeno".



Fig. 6 - L'elevato grado di fratturazione delle rocce affioranti ne assimila il comportamento meccanico a quello delle rocce semicoerenti e incoerenti.

The high degree of fracturing of surfacing rocks makes their mechanical behavior similar to that of semi-coherent and incohesive rocks.

trazione, lo stato di saturazione del terreno e finanche una moderata dissoluzione delle rocce carbonatiche;

- L'escursione termica diurna può essere molto alta e, frequentemente, durante l'inverno, il termometro oscilla sopra e sotto lo zero; in queste condizioni i fenomeni locali di gelo-disgelo diventano morfogeneticamente importanti;
- L'elevato grado di fratturazione delle rocce permette alle acque meteoriche di infiltrarsi profondamente entro la pila litoide e di esercitare locali, rapidi incrementi del carico idrostatico, in specie dove la presenza di livelli a bassa permeabilità allunga i tempi di corruzione sotterranea creando accumuli idrici temporanei; durante o dopo piogge abbondanti, infatti, lungo i versanti del rilievo sul quale è posta la Torre, è facile rilevare emergenze idriche un po' ovunque mentre clasti e massi anche di notevoli dimensioni crollano a valle in grande quantità.

I RUDERI DEL CASTELLO E LA TORRE PENDENTE DI VERNAZZANO

La superficie spianata indicata è ingombra di pietrame proveniente dalle macerie dei manufatti ivi costruiti; tra il materiale diruto emergono porzioni di muri ancora in posto, la base di una torre rotonda e, un po' più distante, una piccola Chiesa (Fig. 7), probabilmente S. Maria delle Trosce.

La Torre pendente, a base rettangolare (m 5 x 5.5), ha un'altezza massima di m 20.95 alla sommità dello spigolo di SW e di m 20.42 a quella dello spigolo di NE verso il quale la Torre ha raggiunto la massima inclinazione. Nel perdere la verticalità, la parte sommitale della Torre ha subito anche una evidente rotazione passando progressivamente dalla sezione rettangolare (angoli di 90°, ancora mantenuti alla base), ad una sezione romboidale. La parte sommitale dello spigolo di NE, sottoposta a maggior tensione, si è "allentata" per aver superato i 90° e le pietre che componevano la muratura si sono distaccate, distanziate e infine sono crollate (Fig. 8).

Oltre quelle indicate, non esistono altre misure



Fig. 7 - Il rudere della piccola Chiesa di S. Maria delle Trosce.
The remains of the small church of St. Mary of Trosce.

esatte, anche se Buattini A. (1846) ha fornito un'accurata descrizione della Torre e misure sufficientemente attendibili. Questo Autore descrive anche la base della Torre che oggi non è visibile, perché mascherata da macerie e, soprattutto, perché infossata nel terreno.

Il confronto tra le misure fornite dal Buattini e quelle oggi rilevabili dimostra come, in 150 anni, la Torre si sia :

- infossata nel terreno per almeno m 1.80 (il Buattini colloca, a m 4.63 da terra, la porta di accesso alla Torre, mentre oggi la stessa si trova a m 2.80),
- inclinata ulteriormente (il fuori piombo alla base della Torre, misurato dal Buattini in m 2.35, oggi è di m 3.88; pertanto, nel 1846, l'inclinazione della Torre era di circa 7°, oggi è quasi il doppio (13° lungo il lato Ovest).

LA DISTRUZIONE DEL CASTELLO: IDROGRAFIA E STABILITÀ DEI VERSANTI

In virtù delle caratteristiche meccaniche e del grado di fratturazione delle rocce, l'arretramento dei versanti si attua essenzialmente per fenomeni gravitativi; più spesso mediante crolli (rock fall) di massi e di pietrisco, ma sono riconoscibili anche fenomeni più complessi, compositi (WP/WLI, 1993), come valanghe di detrito (debris avalanches) e scorrimenti rotazionali in roccia. Al riguardo si segnala il sistema franoso che più direttamente minaccia la stabilità della Torre e che è perfettamente visibile da chi percorra il sentiero che, dall'alveo del T. Rio, si inerpica fino alla Torre pendente. Tale sentiero viene spesso spostato verso valle e parzialmente o completamente ostruito da corpi franosi diversi, sovrapposti e/o accostati, che si muovono in modo autonomo, in tempi diversi e senza apparenti rapporti di causa/effetto.



Fig. 8 - Nel perdere la verticalità, la Torre ha subito anche una vistosa rotazione al punto che la sua porzione sommitale, in origine a sezione rettangolare, si è progressivamente deformata diventando romboidale; dove l'angolo ha superato i 90° le pietre di costruzione si sono distaccate e poi sono crollate.

On losing its verticalità, the Tower underwent a visibile rotation, to the point that its top, originally rectangular, was progressively deformed, becoming rhomboidal. In places where the angle exceeded 90 degrees, the construction stones have detached and then have fallen down.

Seguendo l'assetto degli strati e l'evoluzione dei fenomeni franosi che interessano il sentiero, si è ipotizzato che, sotto la spinta sia del carico litostatico che idrostatico, l'ammasso roccioso possa muoversi anche lungo piani di scivolamento debolmente inclinati contro-monte, sia esistenti (ondulazioni degli strati) che di neoformazione. In pratica si tratta di scorrimenti rotazionali in roccia che, presso la superficie, con la progressiva diminuzione dei vincoli laterali, danno luogo a crolli e a locali colamenti. Questo rapido allontanamento del materiale provoca una nuova depressione "a tergo" innescando altri fenomeni di tensione, movimento reciproco dei blocchi fratturati, ampliamento delle fratture e scivolamento planare delle rocce sovrastanti.

Frequentemente gli ammassi litici sono omogenei, mantengono pressoché indisturbata la stratificazione e sembrano in posto; si ritiene pertanto che questi corpi rocciosi, che emergono come schegge dalla massa litica ridotta in clasti, possano muoversi, episodicamente, lungo piani preferenziali di scivolamento, talora cambiando la direzione del movimento. Più spesso tuttavia l'ammasso roccioso è completamente caotico e in esso si trovano massi e blocchi di roccia, pietrisco, terra e resti vegetali (arbusti e tronchi). La geometria di questo ammasso e il tipo di movimento sono riconducibili al "colamento", tuttavia l'elevata pendenza dei vari piani di scivolamento lungo i quali si realizza il franamento lo identificano, più spesso, come "debris avalanche" (VARNES D.J., 1978).

Già presso la base della Torre sono visibili gradini e lesioni del terreno, assimilabili a nicchie di distacco che disarticolano la massa rocciosa tanto profondamente che ormai dalla Torre all'alveo del T. Rio il corpo franoso, almeno in superficie, può essere considerato unico (Fig. 9).

Questo movimento franoso si è evoluto a causa della progressiva erosione retrogressiva dei versanti tutt'attorno al rilievo che sovrasta la confluenza T. Rio/F.so Tegone (Fig. 9), portando un po' alla volta al crollo delle strutture del castello ivi edificato. Ancora oggi, lungo l'alveo dei due torrenti, tra il materiale che ne costituisce il carico solido, è facile rinvenire pietre squadrate che possono essere riferite a strutture murarie.

Dapprima i piani fondali devono aver subito fenomeni assimilabili a cedimenti differenziali (gli "sprofondamenti" di cui parla il Buattini) a causa dello scivolamento planare degli strati sui quali poggiavano e, quindi, della rottura a com-

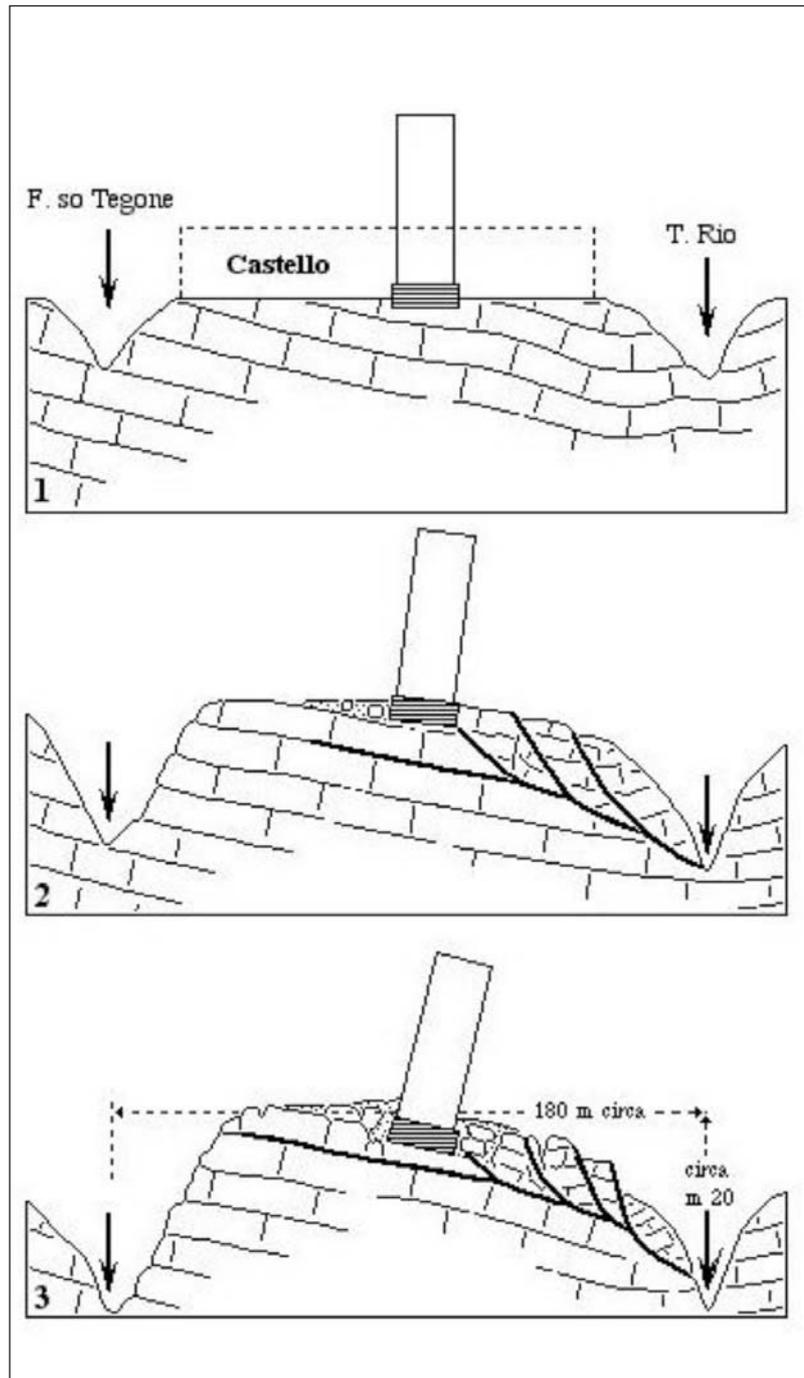


Fig. 9 - L'erosione in alveo e i processi gravitativi hanno provocato la distruzione del Castello di Vernazzano e l'inclinazione della Torre: 1. La Torre, probabilmente quella di "guardia" del Castello di Vernazzano, è stata edificata nel XIII secolo, 2. La profonda incisione operata dal F.so Tegone e dal T. Rio provoca la progressiva distruzione del Castello e, già dal 600, sono segnalati i fenomeni franosi, ancora in atto, che porteranno la Torre ad inclinarsi verso NE. Nel 1846 l'inclinazione della Torre aveva raggiunto i 7°, 3. Situazione attuale. La torre è inclinata di ben 13° ed è profondamente lesionata.

Streams erosion and gravitative processes caused the destruction of the Castle of Vernazzano, and the inclination of the Tower: 1. The Tower, probably the guard tower of the Castle of Vernazzano, was built in the 13th century, 2. The deep incision effected by the Tegone and Rio rivers causes the progressive destruction of the Castle. Landslides, still going on, have been reported since 1600. They lead the tower to lean towards North-East. In 1846 the inclination of the Tower had reached 7 degrees, 3. Current status. The Tower is inclined by as much as 13 degrees and is deeply damaged.

pressione dell'appoggio fondale via via sempre meno contrastato dallo scorrimento rotazionale dell'ammasso roccioso; a seguito di questi movimenti, le strutture si sono inclinate verso valle, come la Torre, seguendo il movimento della massa litica in questa direzione (o, più raramente, "contromonte") e, infine, sono crollate, insieme con ampie porzioni di roccia, per mancanza di sostegno al piede¹.

DATAZIONE DEL FENOMENO FRANOSO CHE INTERESSA LA TORRE

Attorno al 1250, quando fu edificato il castello, l'area fondale dava probabilmente le migliori garanzie di stabilità, in virtù del tipo di roccia affiorante e della situazione topografica locale (superficie spianata), ma proprio le condizioni geomorfologiche che fornivano alla costruzione una posizione dominante e inaccessibile, nel lungo tempo, l'hanno portata alla distruzione.

E' diffusa la credenza che il Castello sia crollato a seguito dei terremoti ma, come rilevato da Cattuto C. & Gambini E. (2002), almeno la Torre ha resistito abbastanza bene agli eventi sismici che, a più riprese, hanno interessato il territorio orientale del Lago Trasimeno; tra quelli più intensi (sup. int. VI della Scala Mercalli), BARATTA M. (1901) e POSTPISCHL D. (1985) segnalano

¹ Anche dalla documentazione storica si ricava che, sulla spianata ove erano fondati i vari edifici, si sono manifestate lesioni sempre più ampie del terreno e "sprofondamenti" (cavità riconducibili probabilmente all'ampliamento delle fratture tra i blocchi calcarenitici in movimento relativo tra loro), entro cui franavano il pavimento delle abitazioni o intere porzioni murarie. Questi eventi sono segnalati già nei primi decenni del 1400, tanto che nel 1455 viene restaurata la stessa Torre, forse già danneggiata dai cedimenti che ne hanno preceduto l'inclinazione, mentre nel 1457 viene rifatta la Rocca di Vernazzano che, in alcune parti, "minacciava rovina" (PELLINI P., 1664). Nei primi decenni del 1500 le mura del Castrum risultano semidirette e la documentazione, fattasi più dettagliata dalle "relazioni" delle visite pastorali effettuate dai Vescovi al Castello di Vernazzano e in particolare alla chiesa di S. Michele Arcangelo che sorgeva presso la Torre, dimostrano che i fenomeni di cedimento e di lesionamento sono progressivi, seppure alternati con periodi di minore attività. Infatti, nel 1626, nella relazione del Vescovo De Torres (Archivio Diocesi Perugia, Vol. XV), vengono segnalati i primi danni alle fondazioni della chiesa, successivamente, nel 1655, come si legge nella relazione della visita pastorale del Vescovo Monaldi (Archivio Diocesi Perugia, Vol. XX) si tenta di riparare la stessa chiesa con l'introduzione di terra entro i vuoti che si erano prodotti sotto le fondazioni, ma nel 1747, a seguito della visita del Vescovo Ferniani (Archivio Diocesi Perugia, Vol. XXVII) la stessa chiesa è dichiarata inagibile a causa di lesioni murarie e cedimenti del pavimento molto gravi e infine, nel 1763 il Vescovo Amadei (Archivio Diocesi Perugia, Vol. XXVIII), dichiara impossibile qualsiasi opera di riparazione e decreta l'abbandono della struttura.

Curiosamente, Anton Maria Garbi, un noto pittore locale, in un pregevole quadro del 1769 dipinge parte del castello ancora in piedi, così come la chiesa di S. Michele Arcangelo e la Torre, in posizione praticamente verticale; ma secondo il BUATTINI (1846), la chiesa di S. Michele Arcangelo venne chiusa al culto nel 1772 "per lo spavento arrecato alle genti dalle pendenze della Torre". Stando a questi documenti, pertanto, la Torre sarebbe stata coinvolta nel movimento franoso nel brevissimo periodo di un triennio.

quelli distruttivi di Sansepolcro del 1345 (int. IX), di Città di Castello del 1389 (int. VIII) e di Sansepolcro e Monterchi del 1414. che hanno raggiunto l'intensità IX della scala Mercalli. Tuttavia, storicamente, non viene segnalato alcun rapporto tra questi terremoti e la distruzione del castello, mentre si deve considerare che lo shock sismico può avere, ripetutamente, innescato e/o favorito i movimenti franosi, in specie quando il terreno si trovava in condizioni sature. Non v'è dubbio quindi che i fenomeni di frana e di crollo conseguenti la profonda incisione operata dal T. Rio² siano i veri responsabili della progressiva distruzione dell'area edificata.

Agli inizi del seicento sono infatti segnalati i primi fenomeni franosi, ma i più deleteri si sono manifestati in un periodo abbastanza breve, tra il 1750 e il 1775 e, a causa di questi, la Torre si è infossata nel terreno. Nello stesso periodo sono segnalati (GAMBINI E., 1995) i più alti livelli idrici del Lago Trasimeno, ovviamente legati ai più abbondanti afflussi meteorici, gli stessi che potrebbero aver aggravato l'instabilità del territorio. E' molto probabile quindi che l'elevato grado di fratturazione della roccia e soprattutto la mancanza di vincoli laterali (rimossi dal franamento) abbiano portato allo schiacciamento dell'appoggio fondale e al cedimento della Torre³.

Considerati i meccanismi di frana (tensione e lesionamento della roccia, ampliamento delle fratture con scorrimento della porzione a valle, parziale rottura a compressione della roccia in fondazione rapidamente sottoposta al carico della struttura e, infine, scivolamento della stessa verso valle), si ritiene che l'inclinazione della Torre non si sia attuata gradualmente, ma procedendo a "scatti" corrispondenti ad eventi concomitanti (precipitazioni gravose, deflussi sotterranei elevati, shock sismici, ecc.).

² Ovviamente non è nota la profondità del F.so Tegone e del T. Rio, rispetto al piano di posa delle strutture murarie edificate nel tredicesimo secolo; tuttavia è probabile che la posizione "dominante" del Castello derivasse proprio dalla profonda incisione dei due torrenti, compresa almeno tra i 5 e i 10 m. Attualmente il dislivello tra la base della Torre e il T. Rio è di circa 20 m, pertanto è probabile che, in circa sette secoli, l'erosione in alveo abbia raggiunto un tasso medio di 1.5 cm/anno.

³ Pur in assenza di dati geotecnici puntuali è di misure esatte relative alla larghezza delle sue fondazioni, è interessante notare che la Torre, con i suoi 20 m di altezza e con una base di m 5 per 5.5, progressivamente rastremata verso l'alto, raggiunge un volume fuori terra di poco superiore ai 500 mc; dal momento che il vuoto interno è di soli 30 (forse 40) mc, il volume complessivo ammonta a 460/470 mc. La roccia utilizzata per la sua costruzione, seppure con i vuoti delle connessioni, può raggiungere un peso di volume di almeno 2.5 t/mc; pertanto il peso complessivo della Torre potrebbe aggirarsi attorno alle 1.200 t corrispondenti, in fondazione e se questa fosse una superficie piana, ad almeno 4 kg/cm². Questo valore non è particolarmente elevato, ma la diversa risposta meccanica delle rocce in fondazione (argilliti, marne, arenarie e calcarenititi), il loro elevato grado di fratturazione, la possibilità di locali fenomeni di dissoluzione e di variazione rapida del carico idrostatico, possono giustificare la locale, bassa resistenza alla compressione della roccia e, quindi, il cedimento differenziale delle strutture e il loro collasso non appena l'appoggio fondale viene rimosso.

CONCLUSIONI E MESSA IN SICUREZZA DELLA TORRE

Lo studio geomorfologica del territorio ha permesso di legare, con rapporti di causa/effetto, fenomeni e situazioni che sembravano indipendenti, quali:

- l'inclinazione della Torre, attribuita a cedimento differenziale del terreno fondale,
- l'ammasso di pietrame, alberi e strati di roccia accumulati, e in movimento come valanga di detrito, lungo il versante destro del T. Rio, abbastanza lontano dalla Torre,
- il continuo crollo di materiale roccioso dalle scarpate richiamato a valle dallo scalzamento al piede operato dall'erosione del T. Rio.

Quello che sembrava un semplice fenomeno di scivolamento del materiale clastico, accumulato come cono detritico lungo il versante destro del T. Rio, si è rivelato invece la manifestazione superficiale di un fenomeno franoso più profondo e complesso, in gran parte riconducibile a scorrimenti rotazionali in roccia in movimento retrogressivo che, almeno nella zona sommitale del rilievo, innescano fenomeni di scivolamento planare.

La Torre pendente, seppur lontana dalla valanga di detriti segnalata lungo il versante del T. Rio, è stata interessata, in un primo tempo, dallo scivolamento planare delle rocce in fondazione⁴ e si è inclinata; ora è

⁴ Durante lo scavo per la posa del blocco di calcestruzzo al quale ancorare la Torre, a circa 3 m di profondità dal piano di campagna, è stato intercettato il probabile piano di scivolamento planare più direttamente responsabile dell'inclinazione della Torre. E' facilmente riconoscibile poiché si identifica come piano di stratificazione sopra al quale gli strati calcarenitici sono ridotti in blocchi distanziati da ampie fratture riempite con depositi eluviali mentre, sotto questo piano, la roccia è omogenea e si può seguire il profilo degli strati per tutta la loro estensione, dal momento che le fratture non sono mai beanti e molte sono cementate da calcite.

molto vicina alla nicchia di distacco del più alto degli scorrimenti rotazionali profondi ed è quindi prossima al collasso totale.

Negli anni 2004/2005 il Comune di Tuoro ha realizzato l'ardito progetto di messa in sicurezza della Torre elaborato dallo Studio tecnico Ing. O. Zucchini di Camucia. Nell'area prossima al ciglio occidentale della superficie spianata è stato incassato un voluminoso blocco di calcestruzzo (circa 150 mc) al quale sono state ancorate 5 coppie di cavi d'acciaio che tirantano una struttura costituita da angolari d'acciaio disposti lungo i quattro spigoli della Torre, per tutta la loro altezza (Fig. 10). Senza questo lavoro di "primo soccorso" la Torre sarebbe già crollata.

Tuttavia il progetto deve essere completato con la realizzazione di altre opere tese a frenare l'erosione in alveo del T. Rio (costruzione di briglie), a ridurre l'infiltrazione delle acque sul corpo di frana e sull'intera zona ove affiorano i ruderi del Castello (opere di drenaggio), a bonificare, per quanto possibile, la frana stessa (infiltrazioni di resine e/o malta cementizia) e, infine, a mettere in luce quanto di archeologicamente interessante emergerà dagli scavi che verranno condotti, alla base della Torre, per controllarne la tipologia e lo stato delle fondazioni.

BIBLIOGRAFIA

- BARATTA M. (1901) - *I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana*. Bocca, Torino.
- BOSCHERINI A., NOCCHI LUCARELLI M. & PIALLI G. (1982) - *Geologia della riva etrusca del Tevere tra le confluenze del T. Niccone e del T. Nese*. Rend. Acc. Sc. Fis. e Nat., Soc. Naz. di Sc. e Lett. in Napoli, **48**, 409-438.



Fig. 10 - Per sostenere il peso della Torre, contrastandone la caduta, è stata allestita una gabbia d'acciaio tirantata e ancorata ad un blocco di calcestruzzo.

In order to support the weight of the Tower, preventing its fall, a steel cage was built, anchored with tie rods to a block of concrete.



- BUATTINI A. (1846) - *Memoria sopra le pendenze della Torre di Vernazano*. Tipografia di V. Santucci, Perugia.
- CATTUTO C. & GAMBINI E. (2002) - *La "Torre pendente" del castello di Vernazzano*. Arnaldo Lombardi Editore.
- CATTUTO C., CENCETTI C., GREGORI L. (1992) - *Il Plio-Pleistocene nell'area medio-alta del bacino del Fiume Tevere: possibile modello morfotettonico* - Studi geolog. Camerti Vol. spec, (1992/1), 103-108.
- DAMIANI A. V. & PANNUZI L. (1985) - *Unità litologiche nell'ambito degli "argilloscisti varicolore" fra il Cortonese e l'Eugubino e preliminari considerazioni paleogeografiche e stratigrafiche*. Boll. Serv. Geol. d' It., **103**, 241-276.
- GAMBINI E. (1995) - *Le oscillazioni di livello del Lago Trasimeno*. Quaderni Museo Pesca Lago Trasimeno, **2**.
- PELLINI P. (1664) - *Dell'Historia di Perugia*. Venezia
- POSTPISCHL D. (1985) - *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. CNR – PF "Geodinamica" N. 114, Vol. 2 B.
- VARNES D. J. (1978) - *Slope movements. Types and processes*. In: Schuster & Krizek (eds) - *Landslides: analysis and control* - Spec. Rep. 176. Transp. Res. Board. National Academy of Sciences. Washington, 11-33.
- WP/WLI - *International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory (1993) - Multilingual Glossary for Landslides*. Bitech, Richmond, British Columbia, 59 pp.

Ms. ricevuto il 20 febbraio 2006
 Testo definitivo ricevuto il 31 ottobre 2006

Ms. received: February 20, 2006
 Final text received: October 31, 2006