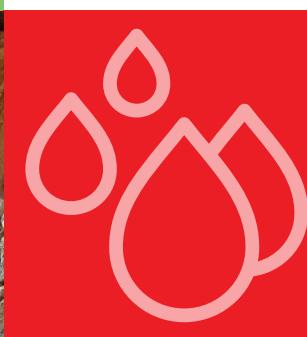


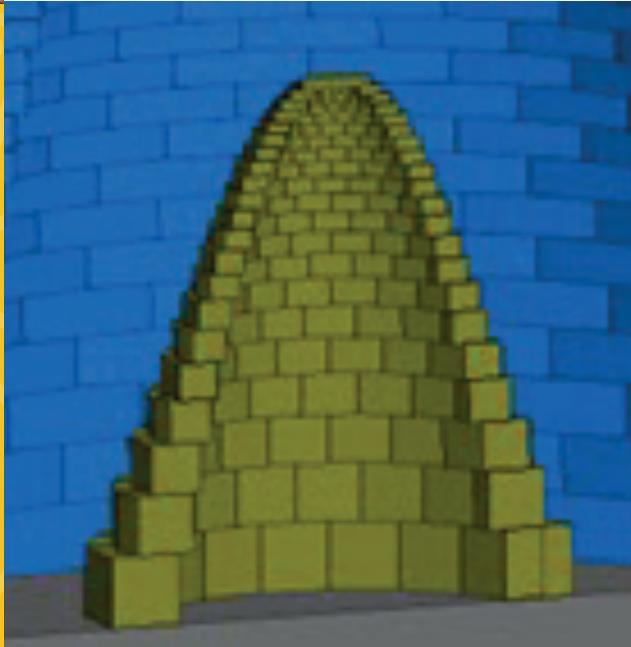
NURAGHES IMPARI/S CONOSCERE INSIEME I NURAGHI

 **return**
MULTI-RISK SCIENCE FOR
RESILIENT COMMUNITIES
UNDER A CHANGING CLIMATE



SCUOLA SECONDARIA DI II^o GRADO E UNIVERSITÀ
CONCORSO "IMMAGINA IL FUTURO DEI NURAGHI"

DOCUMENTO DI APPROFONDIMENTO





NURAGHES IMPARI/S CONOSCERE INSIEME I NURAGHI


MULTI-RISK SCIENCE FOR
RESILIENT COMMUNITIES
UNDER A CHANGING CLIMATE



CONTEST “IMMAGINA IL FUTURO DEI NURAGHI”

DOCUMENTO DI APPROFONDIMENTO PER LE SCUOLE SECONDARIE DI SECONDO GRADO E UNIVERSITÀ

CHIAVE DI LETTURA PER INIZIARE

La civiltà nuragica si è sviluppata in Sardegna tra l'età del Bronzo antico e la prima età del Ferro, in un periodo compreso tra circa il 1800 e il 700 a.C. L'elemento che più la contraddistingue è la costruzione di torri megalitiche in pietra, i nuraghi, che ancora oggi caratterizzano il paesaggio isolano: se ne conoscono circa ottomila, distribuiti con densità diversa nelle diverse aree geografiche dell'isola.

Queste architetture hanno seguito un'evoluzione significativa: dalle prime forme arcaiche a corridoio si passò alle torri nuragiche vere e proprie, con ampie camere centrali talvolta disposte su più piani. Col tempo, le strutture si arricchirono di torri secondarie, cortili interni e cinte murarie, dando vita a complessi articolati.

I nuraghi sono stati a lungo oggetto di studi archeologici e storici, incentrati soprattutto sulla loro funzione, sul significato simbolico e sul ruolo all'interno delle società mediterranee dell'epoca. Questa ricerca si pone, invece, l'obiettivo di comprendere al meglio il principio statico che ha portato all'edificazione di un così gran numero di strutture e ha consentito ai nuraghi di giungere sino ai giorni nostri.

La torre nuragica, che rappresenta il nucleo architettonico elementare anche dei nuraghi complessi, è composta da tre parti fondamentali:

- **la muratura esterna a tronco di cono, costituita da grandi massi ciclopici;**
- **la camera interna coperta da una falsa cupola a gradoni (nota come Tholos);**
- **il materiale di riempimento granulare, posto tra la Tholos e la muratura esterna.**

Oltre alla forma circolare, che è l'aspetto più evidente, ciò che caratterizza in modo fondamentale le costruzioni nuragiche è l'assenza di materiali leganti come malta o cemento. I nuraghi sono infatti edifici realizzati “a secco”, cioè con grandi blocchi di pietra sovrapposti e con pietrame più piccolo disposto negli spazi vuoti tra le pietre più grandi. Di conseguenza, attraverso i giunti agiscono soltanto forze di compressione (le pietre che spingono una sull'altra verso il basso) e forze di taglio (le spinte laterali),

ma non forze di trazione, che la muratura a secco non sarebbe in grado di sopportare.

Le ricerche condotte presso l'Università degli Studi di Cagliari hanno messo in luce che la Tholos è costituita da anelli orizzontali di pietre che raggiungono l'equilibrio statico grazie alle spinte radiali esercitate dal materiale di riempimento. Questo stesso materiale ha un effetto opposto sulla muratura esterna, nei confronti della quale esercita una spinta destabilizzante. La stabilità della torre esterna è quindi affidata soprattutto alla resistenza a taglio lungo i giunti e alla grande dimensione dei blocchi ciclopici che la costituiscono.

Le simulazioni numeriche effettuate hanno evidenziato che la Tholos possiede un livello di sicurezza strutturale nettamente superiore rispetto alla muratura esterna. In altre parole, la cupola interna risulta molto stabile grazie al meccanismo di cerchiatura che si attiva durante la costruzione per anelli successivi.

Questi risultati introducono un elemento innovativo nella comprensione della statica delle torri nuragiche: il ruolo del materiale di riempimento, spesso trascurato negli studi, si rivela in realtà determinante. Da un lato garantisce la stabilità del tholos, dall'altro genera sollecitazioni destabilizzanti sulla muratura esterna, che tuttavia riesce a resistere grazie alla propria massa e alla disposizione dei blocchi.

Le conoscenze acquisite hanno importanti ricadute pratiche. Capire i principi statici delle torri nuragiche è fondamentale per progettare interventi di conservazione e consolidamento efficaci, capaci di rispettare l'equilibrio originale delle strutture, e può fornire un nuovo punto di vista utile per le future ricerche archeologiche. Gli sviluppi futuri della ricerca riguardano l'analisi di modelli più complessi, con corridoi, scale, nicchie e piani multipli, nonché lo studio della vulnerabilità dei nuraghi rispetto a fattori ambientali e antropici.

Questi studi hanno oggi un valore ancora più importante perché 32 siti nuragici sono candidati a diventare Patrimonio Mondiale UNESCO. Per ottenere questo riconoscimento internazionale non basta mostrare la loro bellezza e il loro valore storico e culturale: è fondamentale anche capire perché queste costruzioni sono durate così a lungo e programmare interventi che possano proteggerle e conservarle nel futuro.



NURAGHES IMPARI/S CONOSCERE INSIEME I NURAGHI

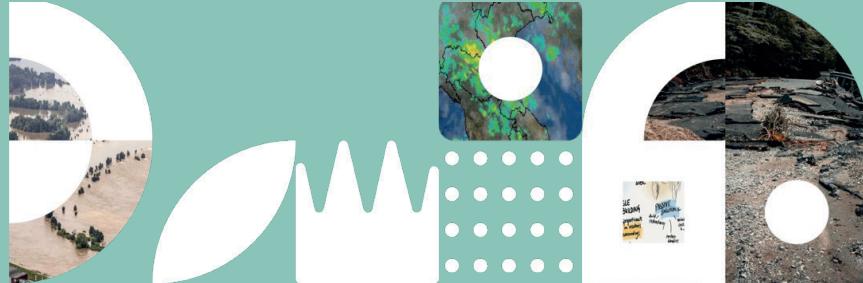




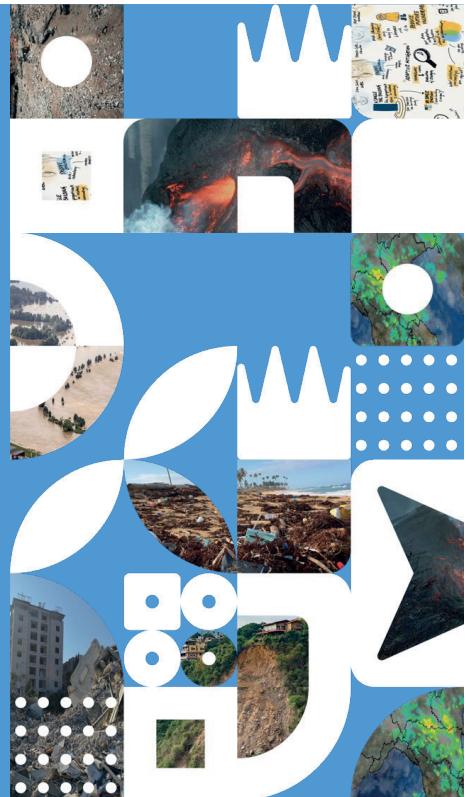
Case studies: rural medieval churches and Nuragic constructions

Elisa Pilia, Francesco Pinna, Emanuele Reccia

DICAAR – University of Cagliari



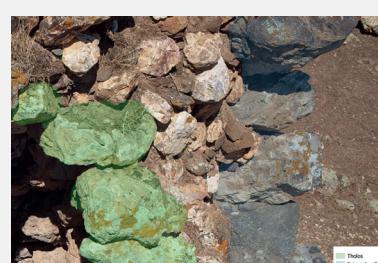
Material Conservation and Structural Stability in Nuragic Constructions



The Nuragic tower

Even in the most complex Nuragic constructions, it is possible to recognize the **repetition of an elementary core** (the Nuragic Tower) that consists of:

- a truncated cone-shaped external wall (**external tower**);
- an internal chamber covered by a corbelled dome (**Tholos**);
- a **filling granular material**.



The Nuragic tower

GEOMETRIC PARAMETERS

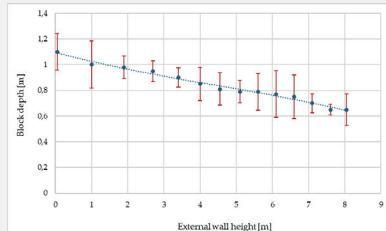
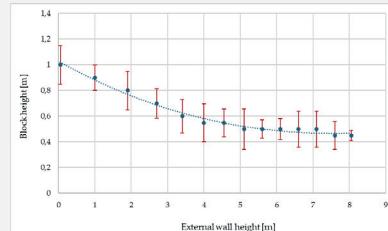
External wall

Base diameter: 10 - 15 m

Height: 7 - 16 m

Vertical inclination: 8° - 15°

BLOCKS GEOMETRY

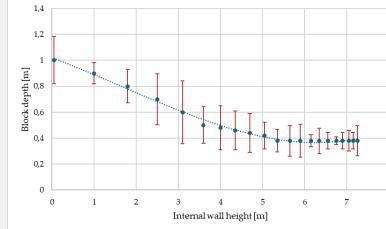
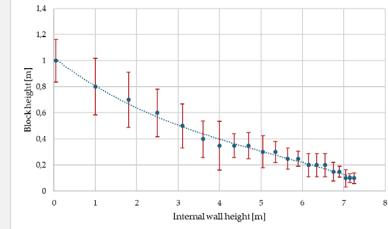


Tholos

Base diameter: 3.5 – 6 m

Height: 4 - 11 m

Parabolic curvature



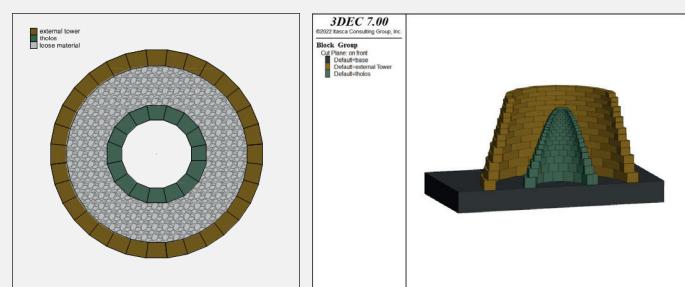
3D statics analysis of Nuragic towers

Starting from the description of the Nuragic Tower's structural elements, a three-dimensional model was generated in the 3DEC environment.

The stability analysis of the Nuragic model has been performed to investigate **how the structure collapses** under the action of its own weight and define the contribution of each **construction element** to the static safety level.

It was assumed that the construction of the Nuraghe occurs by superposition of concentric rings, with decreasing diameter and height, made up of **three concentric circles**:

- an internal circle of blocks (tholos);
- an intermediate circle of loose material;
- an external circle of blocks (external tower).



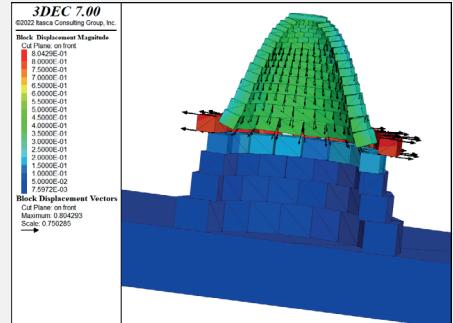
3D statics analysis of Nuragic towers

COLLAPSE OF THE THOLOS

The collapse has been analyzed for **$K=0$** (null horizontal pressure generated by the filling material) and **$K=0.33$** .

For the case of **$K = 0$** , the collapse develops with the **radial expulsion of the blocks** of one of the median rings.

For the case of **$K=0.33$** , the collapse is never reached; the stability no longer depends on the joints friction angle.

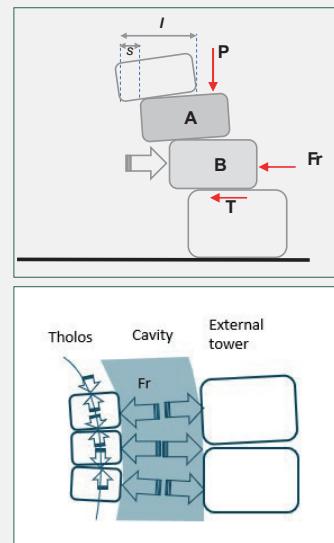


3D statics analysis of Nuragic towers

The **collapse of the tholos** it's triggered by the rotation of one of the rings towards the inside of the chamber, followed by the radial translation of the blocks in the lower rings.

The rotation of the blocks is favored by the high **cantilever rate of the rings**, and it is contrasted by the **weight force of the filling material** acting on the external surface of the blocks and by the continuity of the **lateral contact** between the blocks of the same ring.

The subsequent expulsion of the blocks in the lower rings is opposed by the **horizontal action** exerted by the filling material and the **shear resistance** of the horizontal joints.



**NURAGHES IMPARI/S
CONOSCERE INSIEME
I NURAGHI**

MULTI-RISK SCIENCE FOR
RESILIENT COMMUNITIES
UNDER A CHANGING CLIMATE



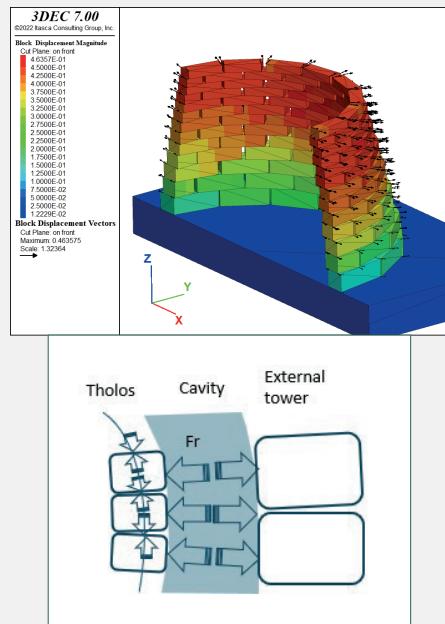
3D statics analysis of Nuragic towers

COLLAPSE OF THE EXTERNAL TOWER

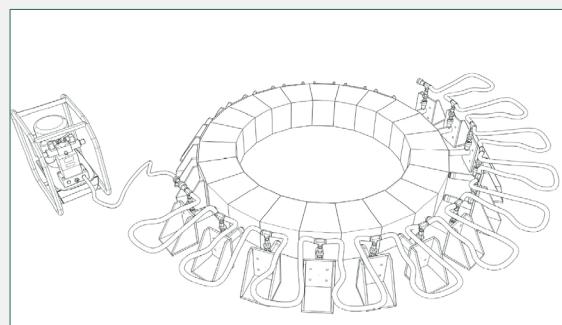
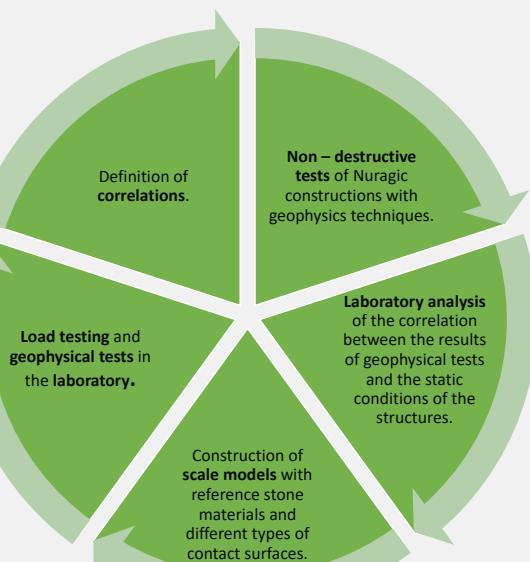
The analysis of the collapse mechanism is developed considering the **horizontal pressure** applied by the filling material.

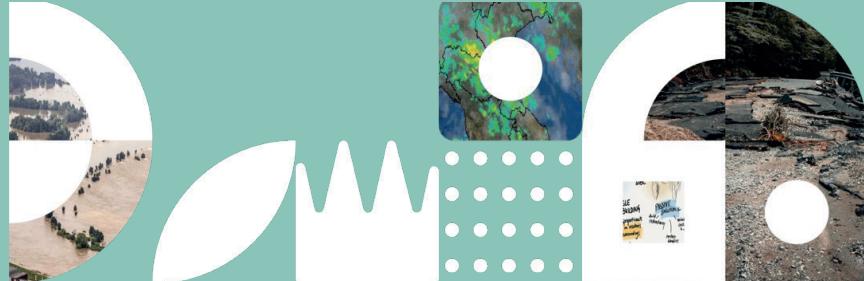
The limit condition is reached by **reducing the shear resistance** of the joints starting from the equilibrium of the structure.

The collapse develops with the **radial translation of the blocks** under the thrust of the force F_r followed by the disconnection of the entire structure.



Future developments





Elisa Pilia, Francesco Pinna, Emanuele Reccia

elisa.pilia@unica; francesco.pinna92@unica.it; emanuele.reccia@unica.it.

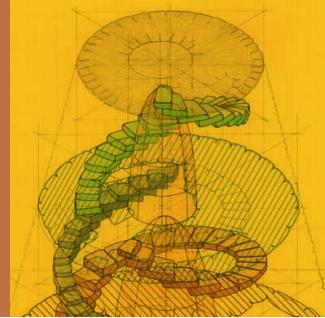
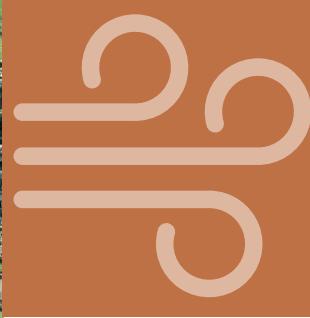


Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca





NURAGHES IMPARIS CONOSCERE INSIEME I NURAGHI

 **return**
MULTI-RISK SCIENCE FOR
RESILIENT COMMUNITIES
UNDER A CHANGING CLIMATE

