

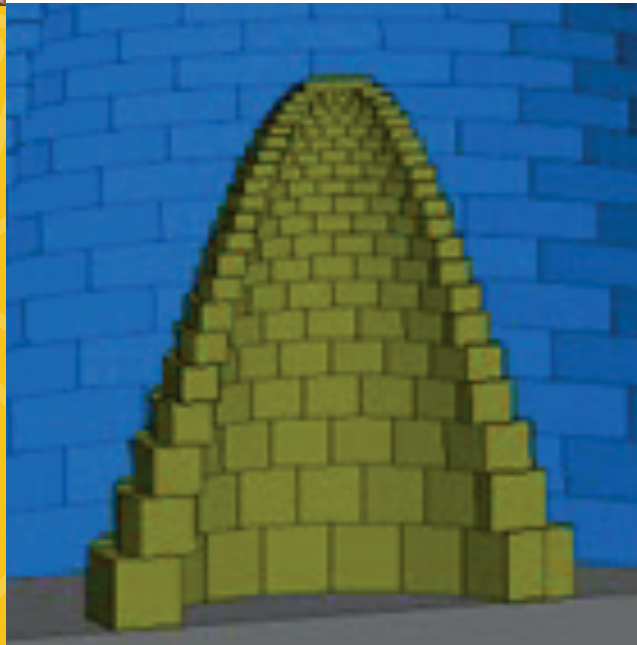
**NURAGHES
IMPARI/S**
CONOSCERE **INSIEME**
I NURAGHI


MULTI-RISK SCIENCE FOR
RESILIENT COMMUNITIES
UNDER A CHANGING CLIMATE



SCUOLA SECONDARIA DI 1° GRADO
CONCORSO "IL NURAGHE RACCONTA"

**DOCUMENTO
DI APPROFONDIMENTO**





NURAGHES IMPARI/S
CONOSCERE INSIEME
I NURAGHI

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



DOCUMENTO DI APPROFONDIMENTO PER LE SCUOLE SECONDARIE DI PRIMO GRADO

CHIAVE DI LETTURA PER INIZIARE

Quando parliamo di vulnerabilità di un monumento archeologico, intendiamo la sua fragilità davanti a fenomeni naturali come incendi, alluvioni, terremoti o frane. In altre parole, è la misura di quanto una struttura rischia di danneggiarsi (entità delle conseguenze) se si verifica un evento di questo tipo.

La vulnerabilità si può immaginare come una scala da 1 a 5:

- **1 significa che la struttura rimane intatta o quasi,**
- **5 significa che il danno è così grave da non permetterne il recupero.**

Nel caso dei beni archeologici della Sardegna, in particolare quelli preistorici e nuragici, la vulnerabilità dipende da due fattori principali:

1. **La stabilità della struttura:** come sono disposti i blocchi di pietra e quanto la loro forma e geometria aiutano a resistere.
2. **La resistenza del materiale:** quanto la pietra stessa è resistente o, al contrario, soggetta a fratturarsi, sgretolarsi o alterarsi.

Se una struttura perde stabilità, a volte può essere ricostruita rimettendo insieme i blocchi originali. Ma se invece si rovina il materiale stesso (cioè la pietra), la perdita è definitiva. Per questo studiare la vulnerabilità è fondamentale: ci permette di capire quali rischi corrono i nostri monumenti e come proteggerli, così da trasmetterli intatti alle generazioni future.

1 INTRODUZIONE

La vulnerabilità rappresenta il danno subito da una struttura a seguito del verificarsi di un fenomeno naturale di una data intensità. In generale è espressa in una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale) ed è una funzione dell'intensità del fenomeno e della tipologia di elemento a rischio.

La vulnerabilità può essere valutata quantitativamente come la probabilità che una struttura subisca un certo danno a seguito del verificarsi di un evento catastrofico di data intensità.

I beni archeologici di cui si tratta sono costituiti da blocchi di materiale lapideo sovrapposti e affiancati secondo geometrie tipiche, che interagiscono meccanicamente attraverso i mutui contatti.

La ricerca ha come oggetto i beni archeologici di età compresa tra l'età Neolitica e l'età del Ferro, definito preistorico e nuragico. Tale patrimonio culturale, eterogeneamente distribuito nel territorio sardo, è stato scelto per la sua unicità e per il ruolo di simbolo identitario capace di rafforzare la resilienza delle comunità che in esso risiedono.

Il sistema dei beni archeologici è stato mappato sistematicamente e definito in termini tipologici mediante lo studio della morfologia, delle tecniche e dei materiali costruttivi. Questi approfondimenti tematici sono stati il punto di partenza per lo studio della vulnerabilità nei confronti degli hazard (alluvioni, frane, sismi, incendi) che potrebbero comprometterne lo stato di conservazione e la trasmissione alle generazioni future.

La valutazione della vulnerabilità si configura, da una parte, nella valutazione della capacità di resistenza della struttura nel suo complesso e, dall'altra, nella capacità resistente dei singoli elementi costruttivi. Nello specifico, lo studio della componente materica per i beni culturali in oggetto è dirimente. Infatti, la loro alterazione, compromissione o perdita, strettamente connessa con la natura dei litotipi, definisce la possibilità di recuperare il manufatto preservandolo nel tempo anche a seguito di eventi che determinino la perdita di integrità della struttura.

In altri termini, considerato che le strutture in esame sono costituite da un insieme di singoli blocchi lapidei disposti secondo geometrie più o meno complesse che ne garantiscono la stabilità complessiva, la vulnerabilità del bene può essere ricondotta a due meccanismi distinti: il primo considera la stabilità della struttura, dipendente dalla geometria dell'insieme dei blocchi (dimensioni e forme dei blocchi, geometria della struttura); il secondo si riferisce alla capacità di resistenza del materiale che costituisce i singoli blocchi, rispetto agli agenti di pericolo. Mentre dunque il primo meccanismo, pur determinando il collasso della struttura, ne consente il recupero mediante operazioni di ricostruzione (riassemblamento dei conci originali costituenti la struttura), il secondo ne sancisce intrinsecamente, la distruzione senza possibilità di recupero. In quest'ottica, la petrografia dei blocchi o conci, inserisce una vulnera-



bilità del bene distinta da quella che descrive la capacità del bene nel suo complesso di resistere agli agenti di pericolo secondo meccanismi che causano la sconnessione della struttura e la sua trasformazione in un insieme di blocchi separati e disassemblati.

In questo contesto, la vulnerabilità delle strutture preistoriche e nuragiche, intesa come la propensione di una struttura a subire un danno a seguito di un evento calamitoso, è stata attribuita secondo una scala di valori da 5 a 1. La vulnerabilità è descritta in riferimento all'integrità della struttura, dei blocchi e del materiale che costituisce i blocchi.

Il livello di danno delle classi da 1 a 5 deve intendersi raggiunto se si verifica almeno una delle condizioni riferite a struttura, integrità dei blocchi, integrità del materiale; il danno di livello 5 deve intendersi raggiunto se si verifica la condizione di disgregazione meccanica dei blocchi o l'alterazione chimico fisica dei minerali costituenti i materiali.

DEFINIZIONE DEL DANNO

1. la struttura non subisce effetti a seguito dell'evento e si conserva intatta, in buono stato di conservazione. I blocchi non subiscono movimenti relativi e in essi non si presentano lesioni né alterazioni minero petrografiche del materiale costituente;
2. i blocchi costituenti la struttura subiscono spostamenti relativi di entità tale da non compromettere la stabilità dell'insieme, i blocchi non subiscono fratturazioni e i materiali non presentano alterazioni chimico-fisiche;
3. i blocchi costituenti la struttura subiscono spostamenti relativi rilevanti che ne mettono in discussione la stabilità globale ma non la compagine geometrica (la struttura non crolla); i blocchi presentano fratture di nuova formazione non passanti; si verificano alterazioni minero-petrografiche del materiale costituente i blocchi, limitate alla superficie dei blocchi;
4. i blocchi costituenti la struttura subiscono spostamenti relativi importanti che ne mettono in discussione la compagine geometrica (la struttura crolla); i blocchi presentano fratture di nuova formazione passanti che non generano la suddivisione dei blocchi; si verificano alterazioni minero-petrografiche del materiale anche estese ma tali da non compromettere l'integrità dei singoli blocchi;
5. i blocchi costituenti la struttura subiscono spostamenti relativi importanti che ne mettono in discussione la compagine geometrica (la struttura crolla); i blocchi originari presentano fratture di nuova formazione passanti che generano la frammentazione dei blocchi originari; il grado di alterazione dei materiali è tale da determinare la disgregazione dei blocchi lapidei e la loro perdita di integrità. Il manufatto non può essere recuperato.

2 VULNERABILITÀ GEOMETRICA DEI BENI NURAGICI

La vulnerabilità geometrica dei beni nuragici è associata alla posizione del manufatto in riferimento alla superficie topografica e alla sua geometria, identificata mediante il rapporto altezza/larghezza:

Equidimensional – B (rapporto h/ l circa pari a 1)

Wide – E (rapporto h/l minore di 1)

Tall – A (rapporto h/l maggiore di 1)

Small – S (dimensioni ridotte)

Subterranean – D (strutture ipogee)

In riferimento al criterio geometrico di cui sopra, i beni nuragici delle tipologie archeologiche rappresentate in figura sono classificati come segue:

- **Equidimensionali (B) le tipologie:**

- Nuraghe a corridoio;
- Nuraghe monotorre;
- Nuraghe complesso;

- **Esteso (E) le tipologie:**

- tombe dei giganti
- santuari;

- **Sotterranei (D) le tipologie:**

- pozzi sacri,
- domus de janass,
- grotte;

- **Small (S) le tipologie:**

- ripari;

- **Tall (A) -le tipologie:**

- strutture menhir
- dolmen
- circoli megalitici.



2.1 RISCHIO INCENDIO

Relativamente agli aspetti geometrici, la vulnerabilità delle strutture nei confronti degli incendi è legata alla loro collocazione in sotterraneo o in superficie, alla loro altezza e profondità (nel caso di ubicazione nel sottosuolo) alle loro dimensioni e al numero di blocchi che le costituiscono.

La vulnerabilità geometrica nei confronti degli incendi è determinata dalle caratteristiche geometriche della struttura che influenzano la maggiore o minore esposizione dei blocchi agli effetti del fuoco e delle alte temperature. L'effetto dell'incendio, infatti, non impatta direttamente sulla struttura nel suo complesso (non genera spostamenti né applica forze alla struttura); l'effetto è indiretto: l'assetto strutturale viene modificato a seguito delle conseguenze dell'incendio sul materiale che costituisce i blocchi (fratturazione e/o disintegrazione – fusione del materiale). Come detto, la geometria della struttura determina la maggiore o minore esposizione del materiale agli effetti dell'incendio per cui influenza la vulnerabilità complessiva del bene. In questo quadro, mentre l'esposizione dei blocchi e dunque del materiale agli incendi è legato alla geometria del manufatto, l'effetto dell'incendio sul materiale è rappresentato attraverso l'indicatore della vulnerabilità del materiale.

Ai fini dell'attribuzione della vulnerabilità geometrica ad ogni categoria di bene archeologico, tenuto conto della definizione del livello di danno, sono stati utilizzati i seguenti criteri.

La collocazione in sotterraneo protegge le strutture dallo sviluppo delle alte temperature che conseguono agli incendi e inibiscono di fatto l'effetto di questi ultimi sulle strutture stesse; le strutture ubicate in sotterraneo sono dunque poco o niente vulnerabili rispetto agli incendi.

L'altezza delle strutture è in generale un elemento di maggiore vulnerabilità a causa di due fattori:

- I maggiori gradienti termici, e dunque stress termici, fra la base e la sommità della struttura;
- La maggiore altezza di caduta dei blocchi nel caso in cui si abbia la suddivisione della struttura nei suoi componenti elementari (blocchi lapidei). Tale maggiore altezza determina la maggiore probabilità di rottura dei blocchi a seguito dell'urto conseguente alla caduta.

La dimensione dei blocchi è un elemento di maggiore vulnerabilità per effetto del maggiore impatto delle dilatazioni termiche e, conseguentemente, degli stress termici sulla fratturazione dei blocchi stessi. A questo proposito è significativo il caso dei menhir e dei dolmen, costituiti entrambi da elementi lapidei singoli di grandi dimensioni. In essi, i gradienti termici generano la formazione di lesioni che possono determinare la suddivisione in più parti degli elementi originari. Per contro, le strut-

ture formate da molti blocchi di dimensioni contenute sono meno vulnerabili alle alte temperature per effetto dei minori gradienti che si verificano nel volume dei blocchi: in questo caso le discontinuità fra un blocco e l'altro funzionano come giunti di dilatazione.

2.2 RISCHIO ALLUVIONI

Le alluvioni esercitano sulle strutture principalmente azioni orizzontali determinate dalla spinta idrostatica oltre che azioni erosive e/o di scalzamento alla base e allagamenti. La vulnerabilità geometrica delle strutture nei confronti delle alluvioni è definita in funzione della loro collocazione in sotterraneo o in superficie, del rapporto tra l'altezza e la larghezza (h/l) del manufatto e delle dimensioni e peso degli elementi dei quali si costituiscono.

In particolare:

- - Le strutture sotterranee e quelle di piccole dimensioni possono subire allagamenti totali o essere completamente sommerse subendo danni ingenti che però non arrivano a determinare l'irrecuperabilità della struttura.
- - Le strutture estese (come i santuari o le tombe dei giganti) rischiano di essere sommerse per buona parte della loro altezza. Il peso molto elevato dei loro elementi costitutivi, però, offre elevata resistenza alla spinta dell'acqua e fa sì che gli stessi elementi possano subire di entità tale da non compromettere la stabilità complessiva della struttura.
- - Le strutture equidimensionali (nuraghi) e tall (menhir, dolmen) sono a contatto con l'acqua solo per una parte limitata della geometria, possono subire piccolissimi spostamenti dei blocchi alla base (molto grandi, pesanti e caricati dal peso della struttura sovrastante) che non compromettono la stabilità globale e neanche l'allontanamento degli stessi blocchi dalla loro sede originaria.

2.3 RISCHIO SISMICO

I terremoti generano forze dinamiche che possono causare instabilità, collasso o disassemblaggio delle strutture. In questo contesto, relativamente agli aspetti geometrici, la vulnerabilità delle strutture è legata alla loro collocazione in sotterraneo o in superficie, alla loro altezza e profondità (nel caso di ubicazione nel sottosuolo), alle loro dimensioni, al numero di blocchi (e di conseguenza di discontinuità) che le costituiscono.

In particolare, le strutture sotterranee, in particolare se a profondità elevate, tendono a subire accelerazioni orizzontali inferiori e presentano una vulnerabilità sismica non elevata.

Fra le strutture superficiali, quelle estese, hanno generalmente buona resistenza grazie al baricentro basso e all'ampia base, che ne aumentano la stabilità statica. Tuttavia, se costituite da blocchi non ben accoppiati, possono subire disassemblaggi



locali. Al contrario, le strutture elevate sono le strutture meno stabili in presenza di oscillazioni sismiche in quanto l'elevato rapporto h/l determina una elevata probabilità di ribaltamento della struttura o di sue parti (alto momento ribaltante). Inoltre, la maggiore altezza di caduta dei blocchi nel caso in cui si abbia la suddivisione della struttura nei suoi componenti elementari (blocchi lapidei). Tale maggiore altezza determina la maggiore probabilità di rottura dei blocchi a seguito dell'urto conseguente alla caduta. Le strutture equidimensionali hanno caratteristiche di vulnerabilità intermedia fra quelle delle strutture alte e quelle delle strutture estese.

Le strutture piccole subiscono forze non elevate durante i sismi (le forze sismiche sono proporzionali alla massa del manufatto) e per questo motivo vengono classificate a vulnerabilità intermedia.

2.4 RISCHIO FRANE

Gli effetti delle frane agiscono direttamente sulla struttura nel suo complesso e possono alterarne l'equilibrio statico, comportando movimenti, rotazioni, ribaltamenti o crolli dei blocchi lapidei, anche in assenza di impatti ad alta energia. Relativamente agli aspetti geometrici, la vulnerabilità delle strutture nei confronti delle frane è fortemente condizionata dalla loro collocazione in sotterraneo o in superficie, del rapporto tra l'altezza e la larghezza (h/l) del manufatto e delle dimensioni e peso degli elementi dei quali si costituiscono.

Ai fini dell'attribuzione della vulnerabilità geometrica ad ogni categoria di bene archeologico, tenuto conto della definizione del livello di danno, sono stati utilizzati i seguenti criteri.

La collocazione in sotterraneo rappresenta un elemento protettivo: in caso di frana, il manufatto possono al massimo essere riempite in caso di colate, in questi casi i detriti possono esercitare delle pressioni che determinano piccoli spostamenti degli elementi che non compromettono la stabilità delle strutture. ma non subisce danni gravi alla struttura, che rimane protetta dall'azione meccanica diretta del materiale in movimento.

Le strutture estese e orizzontali, come tombe dei giganti e santuari, con basso rapporto h/l , offrono maggiore resistenza alla pressione laterale e tendono a mantenere la stabilità, anche se possono subire spostamenti relativi.

All'aumentare del rapporto h/l (strutture equidimensionali e in particolare alte), aumenta l'instabilità delle strutture a seguito dell'impatto del materiale di frana e aumenta anche l'altezza di caduta dei blocchi mobilitati, che possono distruggersi al momento dell'impatto al suolo.

Le strutture minute (small), come ripari, offrono scarsa resistenza alla spinta della frana e possono essere facilmente deformate, spostate o travolte.

SPUNTI FINALI PER RIFLETTERE

I monumenti preistorici e nuragici della Sardegna non sono soltanto pietre antiche, ma rappresentano parte della memoria storica e culturale del popolo sardo. Per questo è importante capire quanto siano vulnerabili, cioè quanto rischiano di danneggiarsi o andare perduti davanti a fenomeni naturali come incendi, alluvioni, terremoti e frane.

Dallo studio emerge che la vulnerabilità dipende da due aspetti fondamentali:

- 1. La forma della struttura (ad esempio una struttura bassa e larga è poco vulnerabile agli effetti destabilizzanti di frane e terremoti rispetto a una struttura alta e stretta).**
- 2. La qualità del materiale lapideo (se il materiale si degrada o si frantuma, il monumento può andare perduto per sempre).**

Alcuni danni possono essere riparati ricostruendo i blocchi, ma se il grado di alterazione dei materiali è tale da determinare la disgregazione dei blocchi lapidei la perdita diventa definitiva.

Studiare la vulnerabilità serve quindi non solo agli archeologi e agli ingegneri, ma anche alla società in generale, perché ci aiuta a proteggere un patrimonio unico, che è allo stesso tempo identità, cultura e risorsa per le comunità sarde. Conservare i nuraghi e le altre testimonianze preistoriche significa garantire che possano continuare a raccontare la loro storia anche alle generazioni future.



SCALETTA RIDOTTA E SCHEMATICA

CHE COS'È LA VULNERABILITÀ

- Misura l'entità del danno che può subire una struttura come conseguenza di eventi di pericolo (in questo caso naturali).
- Scala di valori da 1 (nessun danno) a 5 (distruzione totale).

PERCHÉ RIGUARDA I BENI NURAGICI

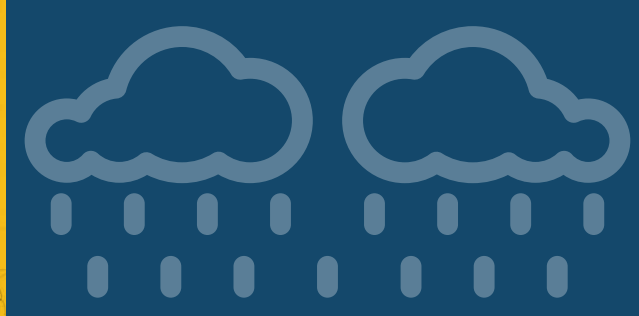
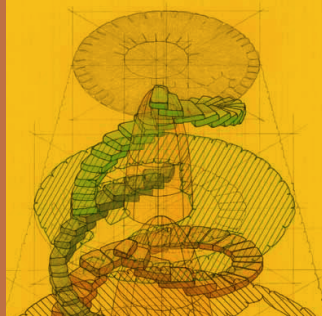
- Strutture fatte di blocchi di pietra senza leganti.
- La loro resistenza dipende da:
 1. Geometria della costruzione (forma, altezza, larghezza).
 2. Qualità del materiale lapideo (quanto resiste ad agenti esterni).

TIPI DI RISCHI PRINCIPALI

- Incendi → il calore può fratturare o disintegrare le pietre.
- Alluvioni → spinta dell'acqua, erosione alla base, allagamenti.
- Terremoti → instabilità, rischio di crollo o disassemblaggio dei blocchi.
- Frane → deformazioni, ribaltamenti e/o sfondamenti causati dal terreno e/o dai massi in movimento.

SCALA DEL DANNO (SEMPLIFICATA)

3. Nessun danno, struttura intatta.
4. Piccoli spostamenti, senza danni gravi.
5. Crepe e danni strutturali, ma struttura ancora in piedi.
6. Crollo della struttura, ma blocchi recuperabili.
7. Distruzione della pietra, perdita definitiva del monumento.



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


MULTI-RISK SCIENCE FOR
RESILIENT COMMUNITIES
UNDER A CHANGING CLIMATE

