Art-Risk 1 Terra Inspector

MANUALE UTENTE

Progetto di Ricerca ART-RISK, Intelligenza Artificiale applicata alla Conservazione Preventiva di Edifici Patrimonio dell'Umanità (BIA 2015-64878-R)

Ricercatore Principale:

Pilar Ortiz Calderón: IP del team. Dottoressa in Chimica. Università Pablo de Olavide.

Gruppo di ricerca e collaboratori:

Rocío Ortiz Calderón: Dottoressa in Architettura. Università Pablo de Olavide.
Juan Manuel Macías: Dottore in Architettura. Università di Siviglia.
María Auxiliadora Gómez Morón: Dottoressa in Chimica. Università di Siviglia.
Dolores Segura Pachón: Dottoressa in Biologia. Università Pablo de Olavide.
M. Ángeles Garrido Vizuete: Dottoressa in Matematica. Università di Siviglia.
Daniel Cagigas Muñiz: Dottore in Informatica. Università di Siviglia.
Ana Velosa: Dottoressa in Ingegneria Civile. Università di Aveiro (Portogallo).
Maurizio Indirli: Dottore in Geologia. Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), (Italia).
Giuseppina Padeletti: Dottoressa in Chimica. Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Italia.
José María Martín Ramírez: Geologo. Master in Laser e Applicazioni in Chimica. Università Pablo de Olavide di Siviglia.
María Auxiliadora Gómez Morón: Chimica. Master in Laser e Applicazioni in Chimica. Università Pablo de Olavide.
Arturo Pérez Plaza: Archeologo. Master in Architettura e Patrimonio Storico. Assessore Tecnico di Archeologia incaricato. Direzione Generale di Beni Culturali e Musei, Ministero della Cultura, Giunta dell'Andalusia.
Gemma Contreras Zamorano: Restauratrice-Conservatrice. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Istituto Valenciano di Conservazione e Restauro della Generalitat Valenciana.
Virginia Cisternas: Architetta. Specializzata in Restauro Architettonico. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Xiloscopio Conservazione e Restauro (Valparaíso, Chile).
María Isabel Turbay: Architetta. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Fondazione Universitaria di Popayán (Popayán, Colombia).
Javier Becerra Luna: Restauratore-Conservatore. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Università Pablo de Olavide.
Andrés José Prieto Ibáñez: Laurea in Edificazione. Master in Gestione Integrale di Edificazione. Università di Siviglia. Spagna.
Julia Benítez Jiménez: Ambientologa. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Università Pablo de Olavide.
Ana María Tirado Hernández: Laurea in Scienze Ambientali, Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Università Pablo de Olavide.

Finanziato da:

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD
UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"

Progetto di Ricerca Intelligenza Artificiale e nuove tecnologie applicate alla prevenzione e gestione di incendi e disastri naturali nel Patrimonio Culturale (PC) mobile e immobile (FENIX) (PID2019-107257RB-I00)

Ricercatore Principale:

Pilar Ortiz (Dip. Sistemi Fisici, Chimici e Naturali, Università Pablo de Olavide)

Gruppo di ricerca e collaboratori:

Rocío Ortiz Calderón: Dottoressa in Architettura. Università Pablo de Olavide.
Macarena Tejada Tejada: Dottoressa in Geografia e Storia. Università Pablo de Olavide.
Dolores Segura Pachón: Dottoressa in Biologia. Università Pablo de Olavide.
Serafín Ojeda Casares: Dottore in Geografia e Storia. Università Pablo de Olavide. Juan Manuel Macías: Dottore in Architettura. Università di Siviglia.
María de los Ángeles Garrido Vizuete: Dottoressa in Matematica. Università di Siviglia.
María Josefa Chávez de Diego: Dottoressa in Matematica. Università di Siviglia.
Daniel Cagigas Muñiz: Dottore in Informatica. Università di Siviglia.
Gemma Contreras Zamorano: Dottoressa in Restauro-Conservazione. Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigación.
Inmaculada Chuliá Blanco: Dottoressa in Restauro-Conservazione. Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigación.
Javier Becerra Luna: Dottore in Restauro-Conservazione. Università Pablo de Olavide.
José María Martín Ramírez: Geologo. Master in Laser e Applicazioni in Chimica. Università Pablo de Olavide di Siviglia.
María Auxiliadora Gómez Morón: Chimica. Master in Laser e Applicazioni in Chimica. Università Pablo de Olavide.
Julia María Martín Martínez: Geologo. Master in Laser e Applicazioni in Chimica. Università Pablo de Olavide.
Julia Benítez Jiménez: Università Pablo de Olavide. Jesús
Jurado Estévez: Università Pablo de Olavide.
Ana María Tirado Hernández: Università Pablo de Olavide.
Arturo Pérez Plaza: Archeologo. Master in Architettura e Patrimonio Storico. Assessore Tecnico di Archeologia incaricato. Direzione Generale di Beni Culturali e Musei, Ministero della Cultura, Giunta dell'Andalusia.
Paula Montilla Gómez: Sito di Conservazione e Opere di Patrimonio Storico. Giunta dell'Andalusia. Elena Gandía Guijarro: Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigación.
Andrzej M. J. Skulimowski: AGH University of Science and Technology in Kraków.
Antonio Formisano: Università di Napoli Federico II.
George Papadopoulos: University of Cyprus.
Andrés José Prieto Ibáñez: Universidad Austral de Chile.
María Isabel Turbay: Architetta. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Fondazione Universitaria di Popayán (Popayán, Colombia).
Mónica Moreno Falcón: Archeologa. Specializzata in Sistemi di Informazione Geografica. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Università Pablo de Olavide.
Laura Toro Murillo: Laureata in Biologia presso l'Università di Siviglia. Tecnico di supporto alla ricerca presso l'Università Pablo de Olavide.

Finanziato da:

Progetto di Ricerca Diagnostica e catalogazione del Patrimonio Architettonico Andaluso tramite l'Analisi di Rischi e Vulnerabilità (MURALLAS) (UPO.20-01)

Ricercatore Principale:

Pilar Ortiz (Dip. Sistemi Fisici, Chimici e Naturali, Università Pablo de Olavide)

Gruppo di ricerca e collaboratori:

Rocío Ortiz Calderón: Dottoressa in Architettura. Università Pablo de Olavide.
Javier Becerra Luna: Dottore in Restauro-Conservazione. Università Pablo de Olavide.
Dolores Segura Pachón: Dottoressa in Biologia. Università Pablo de Olavide.
Membri del gruppo di lavoro:
Mónica Moreno Falcón: Archeologa. Specializzata in Sistemi di Informazione Geografica. Master in Diagnostica dello Stato di Conservazione del Patrimonio Storico. Università Pablo de Olavide.
Pablo de la Cruz Pérez: Storico. Specializzato in Storia Moderna. Università Pablo de Olavide.

Finanziato da:

Progetto di Ricerca Analisi di fattibilità e prove end-user di APP di prevenzione e gestione di incendi o disastri naturali per la conservazione del Patrimonio Culturale mobile e immobile (FENIX 4.0) (PDC2022-133157-I00)

Ricercatore Principale:

Pilar Ortiz (Dip. Sistemi Fisici, Chimici e Naturali, Università Pablo de Olavide)

Gruppo di ricerca e collaboratori:

Rocío Ortiz Calderón: Dottoressa in Architettura. Università Pablo de Olavide.
Javier Becerra Luna: Dottore in Restauro-Conservazione. Università Pablo de Olavide.
Dolores Segura Pachón: Dottoressa in Biologia. Università Pablo de Olavide.
Macarena Tejada Tejada: Dottoressa in Geografia e Storia. Università Pablo de Olavide.
María Auxiliadora Gómez Morón: Dottoressa in Chimica. Università Pablo de Olavide. Istituto Andaluso del Patrimonio Storico.
Daniel Cagigas Muñiz: Dottore in Informatica. Università di Siviglia.
Isabel González Díez: Dottoressa in Geologia.
María Luisa Vázquez Agredos Pascual: Dottoressa in Geografia e Storia press l'Università di Valencia. Dottoressa in Storia dell'Arte presso l'Università Politecnica di Valencia.
Gemma Contreras Zamorano: Dottoressa in Restauro-Conservazione. Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigación.
Inmaculada Chuliá Blanco: Dottoressa in Restauro-Conservazione. Institut Valencià de Conservació, Restauració i Investigación.
María de los Ángeles Garrido Vizuete: Dottoressa in Matematica. Università di Siviglia.
Mónica Moreno Falcón: Archeologa. Specializzata in Sistemi di Informazione Geografica. Dottoressa in Storia. Università Pablo de Olavide.
Pablo de la Cruz Pérez: Storico. Specializzato in Storia Moderna. Università Pablo de Olavide.
Laura Toro Murillo: Biologa. Dottoranda. Università Pablo de Olavide. Andrea
Gil Torrano: Chimica. Dottoranda. Università Pablo de Olavide. Rafael Barea:
Informatico. Università Pablo de Olavide.
Jaime Eduardo del Palacio Pérez: Direttore di operazioni di Mission Track.
Pablo Muñoz del Olmo: Capo del Corpo dei vigili del fuoco di Cuenca. Presidente della Fondazione Fuego.

Finanziato da:

Ringraziamenti: I ricercatori dei progetti desiderano ringraziare tutti gli esperti che hanno partecipato al metodo d'indagine DELPHI e le organizzazioni che hanno collaborato alla realizzazione delle ispezioni tecniche, alla valutazione dei risultati e, in generale, al trattamento delle procedure da un punto di vista interdisciplinare e scientifico. In tal senso, va sottolineato l'interesse e la collaborazione dell'Arcivescovato di Siviglia e, in modo particolare, dei parroci e responsabili delle parrocchie di Omnium Sactorum, San Marcos, San Román e Santa María Magdalena, nonché la Confraternita della Resurrezione, responsabile della manutenzione della chiesa di Santa Marina; il Comune di Morella (Valencia) e la Chiesa Arcipretale di Santa María, il Sindaco di Popayán, il Centro Provinciale del Patrimonio Culturale di Matanzas e la *Oficina del Conservador* della Città di Cienfuegos. Ringraziamo l'Istituto del Patrimonio Culturale di Spagna (IPCE) per il sostegno istituzionale e la collaborazione nello sviluppo del progetto, il Ministero della Cultura e Patrimonio Storico della Giunta di Andalusia, l'Istituto Andaluso del Patrimonio Storico (IAPH), Istituto Valenciano di Conservazione, Restauro e Ricerca (IVCR+i), l'Istituto Nazionale di Ricerca e Sviluppo in Optoelettronica (INOE 2000), Rete di Scienze e Tecnologia per la Conservazione del Patrimonio Culturale (TechnoHeritage)),Università delle Arti di Cuba, Centro di Studi dell'Istituto Cubano di Radio e Televisione, Fondazione Universitaria di Popayán, Università Nazionale Toribio Rodríguez de Mendoza dell'Amazzonia, Università Austral de Chile; e le aziende GEYSER S.L. e Elabora S.L.

Software registrato per la Spagna con nº SE-967-19 nel Registro della Proprietà Intellettuale.

Il presente manuale viene pubblicato a scopo esclusivamente informativo e divulgativo, pertanto non potrà essere interpretato come una consulenza professionale. Gli autori si esonerano da qualsiasi responsabilità che possa derivare dall'uso delle informazioni contenute nel presente manuale.

In applicazione della legge spagnola 3/2007, del 22 marzo, per l'uguaglianza effettiva tra uomini e donne, ogni menzione in queste linee guida a persone, collettivi, ecc., il cui genere è maschile, si riferisce al genere grammaticale neutro, includendo quindi la possibilità di riferirsi sia a donne che a uomini.

INDICE DEI CONTENUTI

1. Cos'è Art-Risk 1 Terra Inspector e a cosa serve? 8

2. Concetti di base usati in Art-Risk 1 Terra Inspector 8

3. Come usare Art-Risk 1 Terra Inspector? 10

3.1. Prima schermata: Registro delle patologie 10

3.2. Seconda schermata: Registro degli agenti di degrado 12

4. Rapporto 15

Bibliografia 16

Allegato 1. Glossario delle patologie 17

1. Cos'è Art-Risk 1 Terra Inspector e a cosa serve?

Art-Risk 1.0 Terra Inspector® è un'applicazione informatica che serve a valutare la vulnerabilità delle fortificazioni in pisé (terra battuta) attraverso il registro della frequenza e magnitudine degli indicatori di alterazione presentati.

Questa applicazione si basa sulla metodologia Art Risk 1 per l'analisi del rischio di beni culturali (Ortiz &Ortiz, 2016; Moreno et al. 2019) e consente all'utente di calcolare l'intensità dei danni registrati nella diagnosi per ottenere un indice di vulnerabilità, che contribuisce a conoscere lo stato di conservazione della fortificazione in pisé analizzata ed essere in grado di analizzare comparativamente grandi superfici. La metodologia per le muraglie è stata convalidata in 57 fortificazioni in pisé in Andalusia (Moreno, 2023).

L'applicazione è disponibile online per il libero uso (https://www.upo.es/investiga/art-risk-service/art-risk1/artrisk1) ed è stata sviluppata dall'Università Pablo de Olavide (PAI TEP 199) nell'ambito dei progetti:

1. Intelligenza Artificiale applicata alla Conservazione Preventiva di Edifici Patrimonio dell'Umanità (ART-RISK) (BIA 2015-64878-R).
2. Intelligenza Artificiale e nuove tecnologie applicate alla prevenzione e gestione di incendi e disastri naturali nel Patrimonio Culturale (PC) mobile e immobile (FENIX) (PID2019-107257RB-I00).
3. Diagnostica e catalogazione del Patrimonio Architettonico Andaluso tramite l'Analisi di Rischi e Vulnerabilità (MURALLAS) (UPO.20-01).
4. Progetto di Ricerca Analisi di fattibilità e prove end-user di APP di prevenzione e gestione di incendi o disastri naturali per la conservazione del Patrimonio Culturale mobile e immobile (FENIX 4.0) (PDC2022-133157-I00).

2. Concetti di base usati in Art-Risk 1 Terra Inspector

Per comprendere Art-Risk 1.0 Terra Inspector l'utente deve conoscere i seguenti concetti di base:

1. UAM: acronimo di Unità di Analisi Minima. Questo termine si riferisce alla struttura costruttiva minima di analisi utilizzata nella diagnosi. Ad esempio, in un recinto murato, ciascuna delle torri, delle tele e delle porte di accesso sarebbero una UAM indipendente in cui registrare indicatori di alterazione o patologie.
2. Indicatori di alterazione o patologie: Sono le alterazioni o danni che colpiscono un Bene Patrimoniale. La lista di indicatori di alterazione o patologie usata da Art- Risk 1.0 è stata adattata sulla base del "Glossario illustrato di forme di deterioramento della pietra" di ICOMOS (https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2089/1/spanish_glossary.pdf). Per maggiori informazioni, vedi il glossario di patologie nell'allegato 1.

3. Fattori di alterazione o agenti di degrado: sono quei fenomeni o elementi che possono scatenare la presenza degli indicatori di alterazione o patologie rilevati in un Bene Patrimoniale. In Art-Risk 1.0 si possono registrare 18 fattori di alterazione o agenti di degrado di carattere climatico, geotecnico e antropico.

4. Frequenza: assiduità con cui si manifesta un indicatore di alterazione o patologia in una UAM. La presenza può essere registrata in un grado che va da 0 a 3.

    - 0 indica che la patologia non è stata osservata nella UAM
    - 1 indica che la patologia è difficile da rilevare nell'ispezione visiva della UAM
    - 2 indica che la patologia viene identificata con facilità nell'ispezione visiva della UAM
    - 3 indica che la sua presenza è molto alta e occupa più del 50% della superficie della UAM. Nel caso di fratture o altre patologie lineari, si considera questo valore quando esiste una frattura che colpisce il 90% dell'altezza della UAM o almeno due fratture che colpiscono il 50% dell'altezza della UAM.

5. Magnitudine: Gravità o capacità di creare danno di ogni indicatore di alterazione o patologia. La magnitudine varia da 1 a 5 a seconda di quanto la presenza di tale patologia sia dannosa per la conservazione della struttura. Ad esempio, la rubefazione ha una magnitudine di 1, mentre la frattura di 5. Ciò si deve al fatto che la presenza di fratture in una struttura è molto più dannosa per la stessa che la presenza di rubefazione. La patologia di frammentazione è l'unica che ha una magnitudine 10 poiché si tratta della somma di due patologie: la fratturazione più lo spostamento.

6. Intensità: Severità dei danni o patologie. Si calcola come una funzione della magnitudine o gravità e della frequenza o probabilità delle patologie registrate (Ortiz&Ortiz, 2016; Moreno et al. 2019; Moreno, 2023; Ministero della Cultura e dello Sport della Spagna, 2019).

7. Vulnerabilità: Suscettibilità di una UAM o dell'insieme di esse nel vedersi colpite dai possibili pericoli esterni. Art-Risk 1.0 Terra Inspector calcola la vulnerabilità come una variabile di carattere interno ed esterno, che si basa nell'analisi dell'intensità delle patologie che presenta e i fattori di alterazione che esistono nell'ambiente circostante. Per farlo, utilizza matrici di tipo Leopold (Ortiz, 2014; Moreno, 2023).

8. Indice di Vulnerabilità (VI): Misura quantificata espressa in percentuale, che mette in relazione la vulnerabilità registrata in una UAM o in una fortificazione con il peggiore degli scenari possibili in data UAM o fortificazione.

3. Come usare Art-Risk 1 Terra Inspector?

L'applicazione Art Risk 1.0 Terra Inspector richiede l'inserimento di diversi dati da parte dell'utente sulle patologie e i fattori di alterazione identificati nella diagnosi. Per farlo, lo strumento dispone di 2 schermate consecutive in cui registrare questi dati.

3.1. Prima schermata: Registro delle patologie

La prima schermata consente di inserire dati di base sulla diagnosi (nome della fortificazione analizzata e data della diagnosi) e la frequenza di comparsa delle patologie registrate in una UAM.

Nella parte bassa della schermata si trova un elenco di 22 patologie con la relativa magnitudine associata. Sotto l'elenco, per impostazione predefinita, appaiono le caselle della prima UAM, tutte marcate con il numero 0 (Figura 1). Queste caselle devono essere compilate con i valori 1, 2 e 3 in funzione della frequenza con cui compare ognuna di queste patologie nelle UAM analizzate. Se una patologia non compare in una UAM, bisogna lasciare il valore 0. È indispensabile assicurarsi di non lasciare nessuna casella in bianco affinché l'applicazione funzioni. Per ognuna delle UAM ci sono anche delle caselle in cui introdurre le relative coordinate.

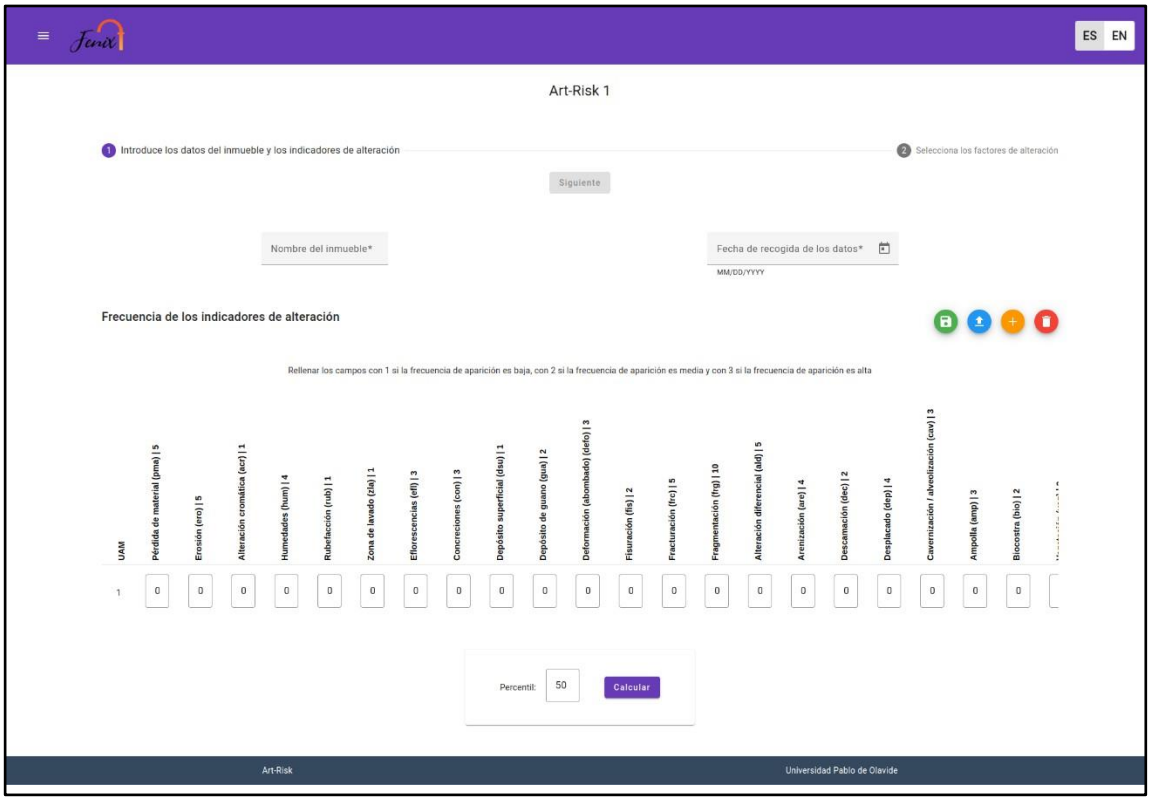


Figura 1. Prima schermata di Art-Risk 1.0 Terra Inspector. In questa schermata si inseriscono i dati descrittivi della diagnosi e gli indicatori di alterazione presenti in ogni UAM.

Se si inseriscono le patologie registrate di una sola UAM si può calcolare la vulnerabilità di tale UAM. Se si inseriscono dati su tutte le UAM che compongono una fortificazione si può calcolare la vulnerabilità della stessa.

Per aggiungere più UAM si deve premere il pulsante che si trova sopra l'elenco di patologie. Il pulsante serve a cancellare l'ultima UAM (Figura 2). Inoltre, con il pulsante si possono salvare temporaneamente i dati delle UAM nell'applicazione e con il pulsante si possono caricare nuovamente. La figura 2 è un esempio d'uso dell'applicazione per 10 UAM.

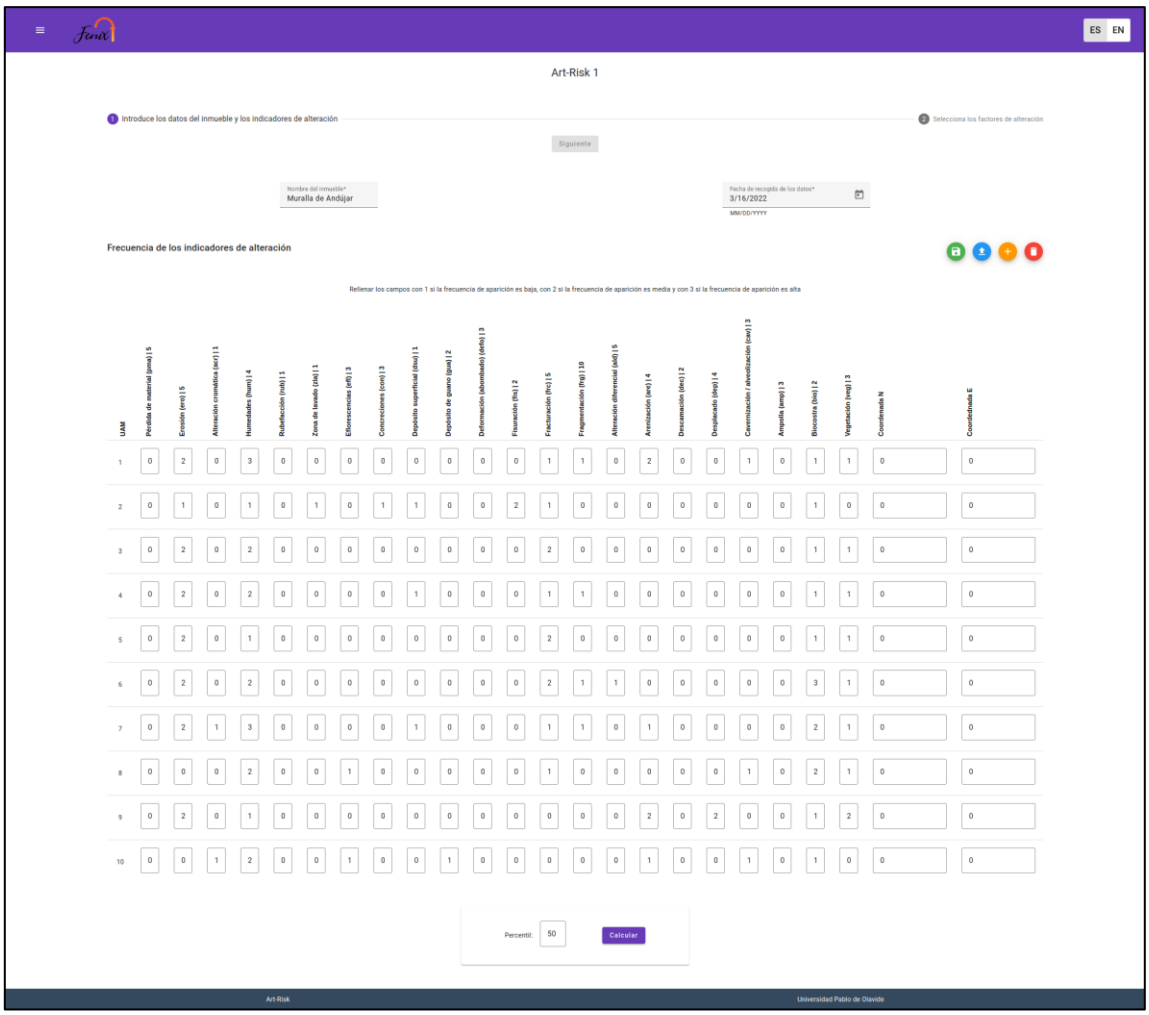


Figura 2. Prima schermata di Art-Risk 1.0 Terra Inspector. In questo caso, sono state inserite le frequenze degli indicatori di alterazione registrati in 10 UAM.

Premendo il pulsant Calcular l'applicazione calcola l'intensità del danno della fortificazione che stiamo analizzando ed elabora una tabella e un grafico a barre con la frequenza di comparsa delle patologie (Figura 3). L'intensità del danno si ottiene sulla base della mediana delle patologie registrate (percentile 50). Inoltre, l'applicazione consente di modificare il percentile da cui vogliamo partire per calcolare l'intensità del danno.

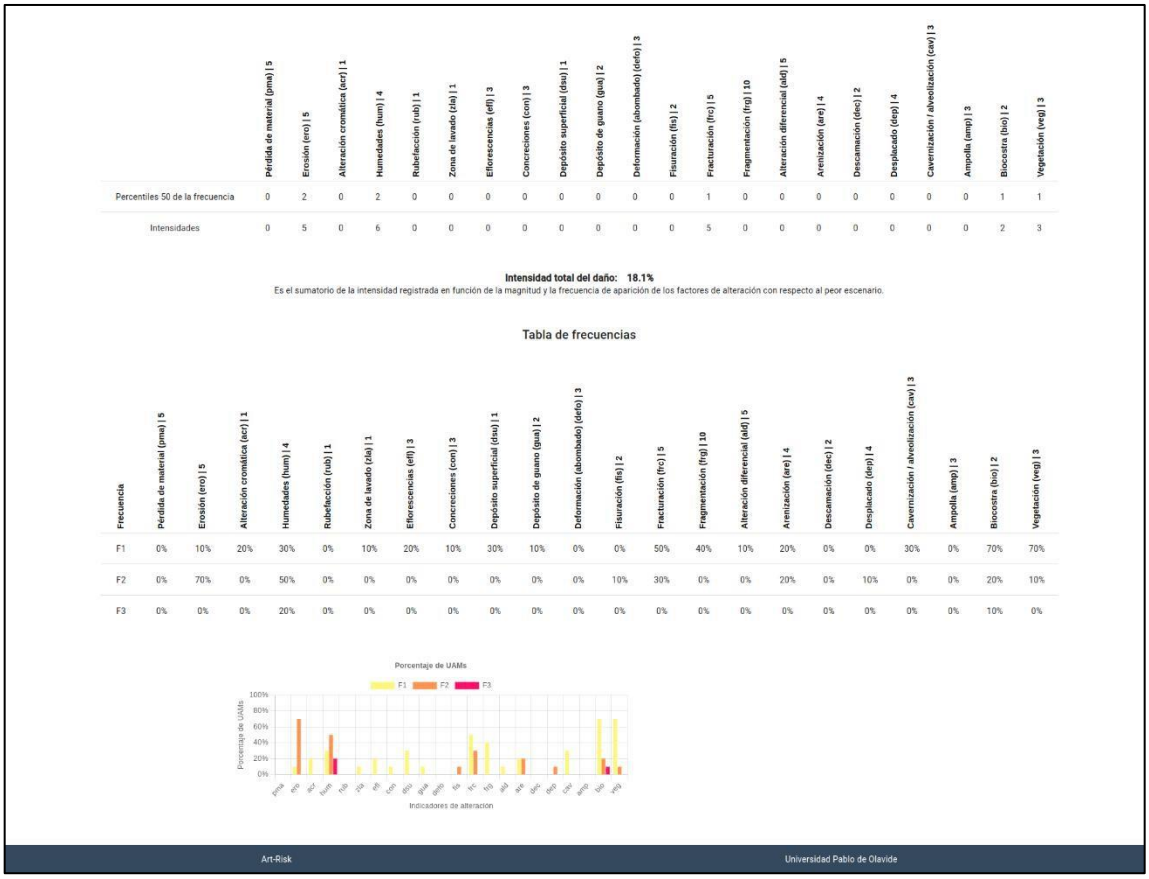


Figura 3. Tabella e grafico a barre con la frequenza di comparsa di patologie in una fortificazione composta da 10 UAM.

3.2. Seconda schermata: Registro degli agenti di degrado

Una volta registrata la presenza di patologie, l'applicazione permette di accedere ad una seconda schermata in cui è possibile documentare i fattori di alterazione presenti nell'ambiente, che stanno influendo sulla comparsa di tali patologie.

Per accedere a questa seconda schermata basta premere il pulsa **Siguiente** nella parte superiore della prima schermata. Apparirà quindi una matrice che collega le 22 patologie con i 18 fattori di alterazione o agenti di degrado che possono essere la causa della sua comparsa (Figura 4).

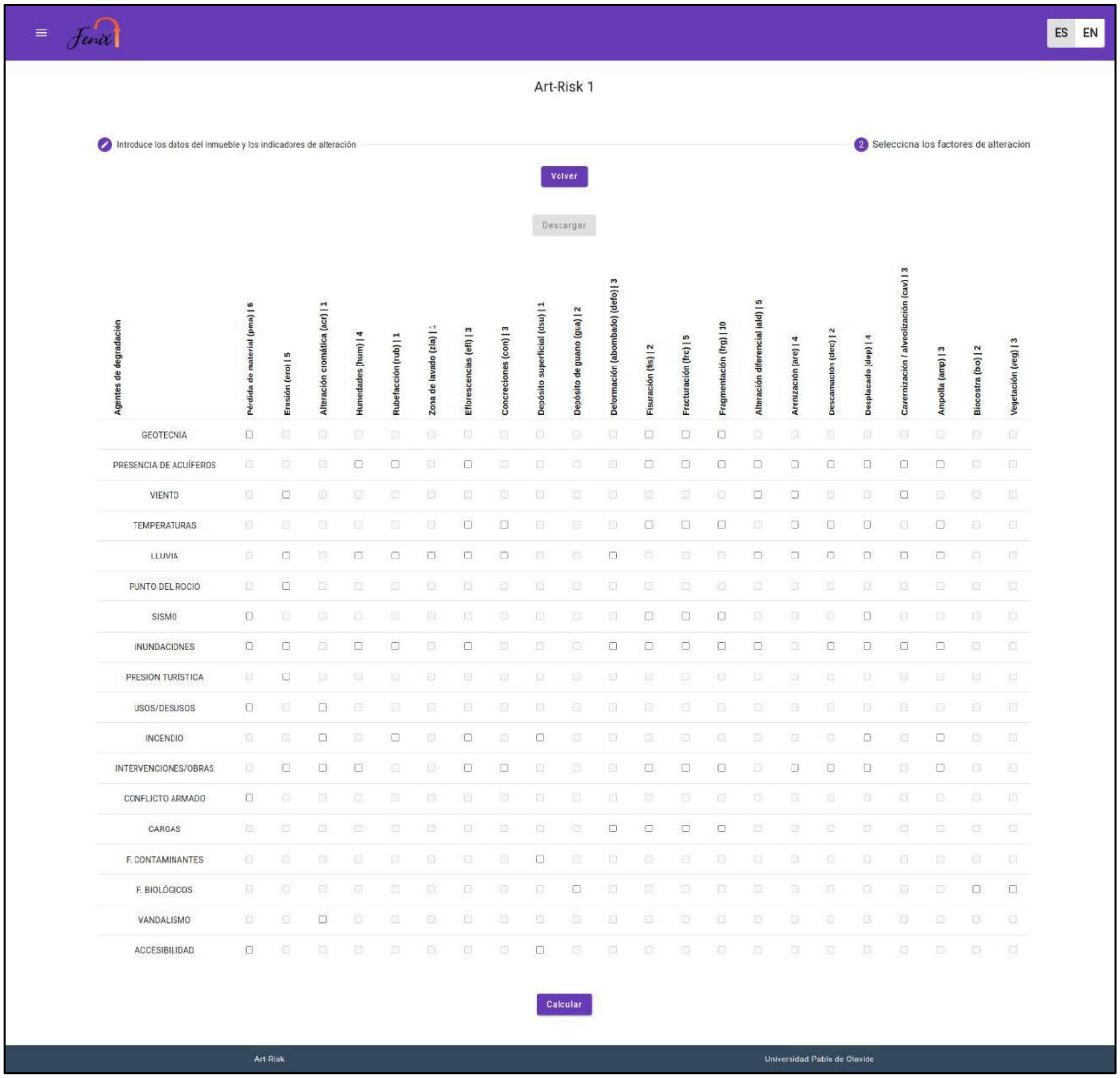


Figura 4. Seconda schermata di Art-Risk 1.0 Terra Inspector. Qui vengono inseriti i dati relativi agli agenti di degrado responsabili negli indicatori di alterazione registrati nella schermata precedente

Per calcolare l'Indice di Vulnerabilità (IV) bisogna contrassegnare le caselle dei fattori di alterazione o agenti di degrado che stanno provocando la presenza di un indicatore di alterazione o patologia. Si possono selezionare solo le caselle in cui è possibile l'esistenza di una relazione tra la presenza dell'agente di alterazione e lo sviluppo della patologia. Queste caselle sono rimarcate con un bordo nero più scuro. Questa tabella consente di contrassegnare il numero di caselle necessarie per una stessa patologia (Figura 5).

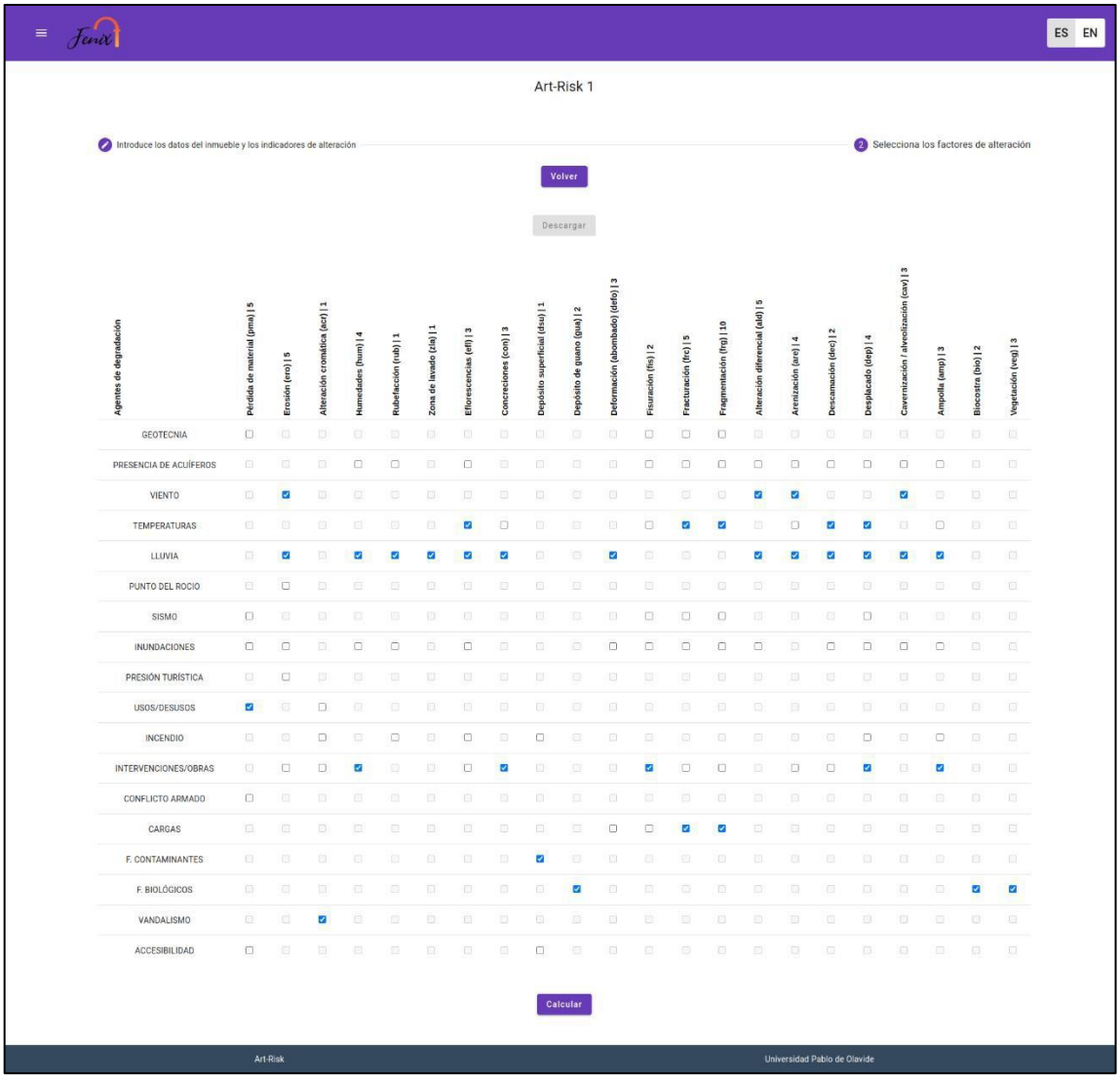


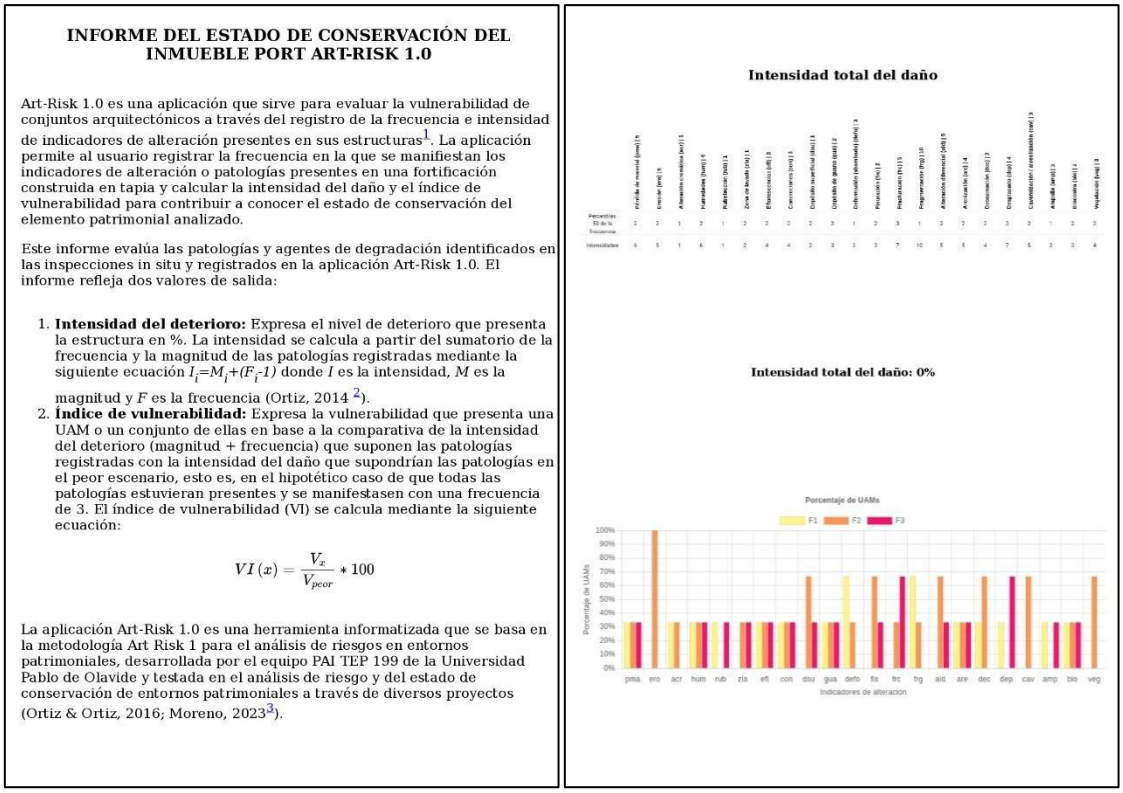
Figura 5. Seconda schermata di Art-Risk 1.0 Terra Inspector con i dati relativi agli agenti di degrado responsabili negli indicatori di alterazione registrati

Una volta contrassegnate le caselle necessarie, bisogna premere il pulsante Calcola in modo che Art-Risk 1.0 Terra Inspector calcoli l'Indice di Vulnerabilità (IV) (Figura 6).

Figura 6. Indice di vulnerabilità calcolato dall'applicazione Art-Risk 1.0 Terra Inspector in funzione dei dati registrati

4. Rapporto

Dopo aver inserito i dati e calcolato l'Indice di Vulnerabilità, l'applicazione Art-Risk 1.0 Terra Inspector consente di scaricare il rapporto premendo il pulsante descargar. Questa opzione crea un documento in formato PDF con la metodologia seguita e i calcoli effettuati dall'applicazione (Figura 7).



INFORME DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL INMUEBLE PORT ART-RISK 1.0

Art-Risk 1.0 es una aplicación que sirve para evaluar la vulnerabilidad de conjuntos arquitectónicos a través del registro de la frecuencia e intensidad de indicadores de alteración presentes en sus estructuras[1]. La aplicación permite al usuario registrar la frecuencia en la que se manifiestan los indicadores de alteración o patologías presentes en una fortificación construida en tapia y calcular la intensidad del daño y el índice de vulnerabilidad para contribuir a conocer el estado de conservación del elemento patrimonial analizado.

Este informe evalúa las patologías y agentes de degradación identificados en las inspecciones in situ y registrados en la aplicación Art-Risk 1.0. El informe refleja dos valores de salida:

1. **Intensidad del deterioro:** Expresa el nivel de deterioro que presenta la estructura en %. La intensidad se calcula a partir del sumatorio de la frecuencia y la magnitud de las patologías registradas mediante la siguiente ecuación $I_i=M_i+(F_i-1)$ donde I es la intensidad, M es la magnitud y F es la frecuencia (Ortiz, 2014 [2]).
2. **Índice de vulnerabilidad:** Expresa la vulnerabilidad que presenta una UAM o un conjunto de ellas en base a la comparativa de la intensidad del deterioro (magnitud + frecuencia) que suponen las patologías registradas con la intensidad del daño que supondrían las patologías en el peor escenario, esto es, en el hipotético caso de que todas las patologías estuvieran presentes y se manifestasen con una frecuencia de 3. El índice de vulnerabilidad (VI) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$VI\,(x) = \frac{V_x}{V_{peor}} * 100$$

La aplicación Art-Risk 1.0 es una herramienta informatizada que se basa en la metodología Art Risk 1 para el análisis de riesgos en entornos patrimoniales, desarrollada por el equipo PAI TEP 199 de la Universidad Pablo de Olavide y testada en el análisis de riesgo y del estado de conservación de entornos patrimoniales a través de diversos proyectos (Ortiz & Ortiz, 2016; Moreno, 2023[3]).

Figura 7. Rapporto dello stato di conservazione della fortificazione ottenuto con Art-Risk 1.0 Terra Inspector.

Bibliografia

Ortiz, R. (2014). Analisi di vulnerabilità e rischi in edifici singolari di Siviglia. Tesi di dottorato. Università Pablo de Olavide.

Ortiz, R., & Ortiz, P. (2016). Vulnerability index: A new approach for preventive conservation of monuments. International Journal of Architectural Heritage, 10(8), 1078- 1100. https://doi.org/10.1080/15583058.2016.1186758

Ministero della Cultura e dello Sport della Spagna (2019) Guida per l'elaborazione e la realizzazione di Piani di Conservazione Preventiva. Disponibile su: https://www.cultura.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:96f79a4b-3b08-4198-81f4-b854d2a832bd/guia-elaboraci-n-planes.pdf

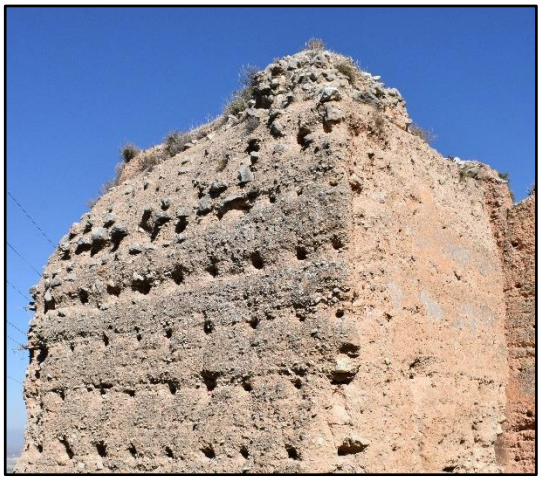
Moreno, M. Ortiz, P. & Ortiz, R. (2019) Vulnerability study of earth walls in urban fortifications using cause-effect matrixes and gis: The case of seville, carmona and estepa defensive fences. Mediterr. Archaeol. Archaeom, 19, 119-138. https://doi.org/10.5281/zenodo.3583063

Moreno, M. (2023) Nuove tecnologie geo-spaziali applicate alla gestione di rischi di beni patrimoniali: la preservazione di fortificazioni in pisé mediante telerilevamento, indici di vulnerabilità e sistemi di informazione geografica. Tesi di dottorato. Università Pablo de Olavide.

Allegato 1. Glossario delle patologie

Di seguito, si riporta un glossario visivo degli indicatori di alterazione o patologie usate nell'applicazione Art-Risk 1.0 Terra Inspector[1].

Indicatore di alterazione: Perdita di materiale.	
Spazio vuoto, prima occupato da materiale.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Geotecnica, sisma, inondazioni, uso/disuso, conflitto armato, accessibilità.	

Indicatore di alterazione: Erosione.	
Perdita della superficie originale che provoca la levigatura delle forme.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Vento, pioggia, punto di rugiada, inondazioni, pressione turistica, interventi/opere.	

[1] Per ottenere maggiori informazioni sulle patologie di questo glossario, è possibile consultare: Moreno, M., Ortiz, P., & Ortiz, R. (2019). Vulnerability study of earth walls in urban fortifications using cause-effect matrixes and GIS: The case of Seville, Carmona and Estepa defensive fences. *Mediterr. Archaeol. Archaeom*, 19, 119-138. DOI: 10.5281/zenodo.3583063

Indicatore di alterazione: Alterazione cromatica.	
Cambi di tonalità, saturazione e/o luminosità nella superficie.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Uso, disuso, incendio, interventi/opere, vandalismo.	

Indicatore di alterazione: Umidità.	
Oscuramento della superficie dovuto alla presenza di acqua, a cui può associarsi la presenza di depositi e/o alterazioni biologiche.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, pioggia, inondazioni, interventi/opere.	

Indicatore di alterazione: Rubefazione.	
Arrossamento nella superficie dei materiali che si mantiene in profondità di vari millimetri. Questa patologia viene attribuita alla lisciviazione degli ossidi di ferro dall'interno dovuta all'azione dell'acqua.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, pioggia, inondazioni, incendi.	

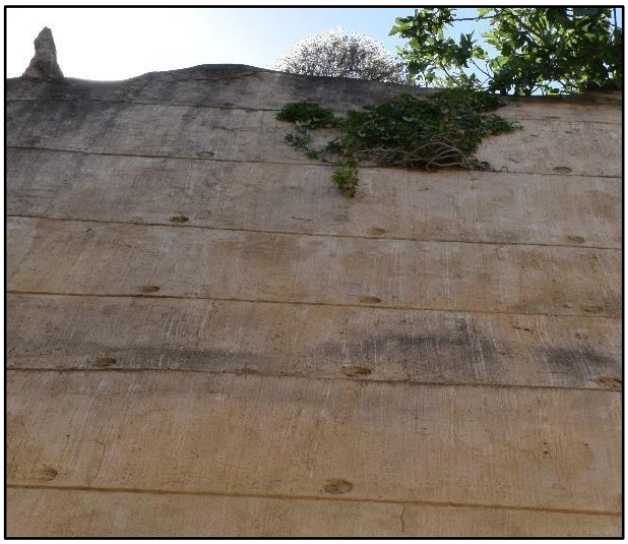
Indicatore di alterazione: Zona di lavaggio.	
Fenomeno per il quale componenti chimici del materiale sono separati e trascinati per via della circolazione dell'acqua piovana.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Pioggia.	

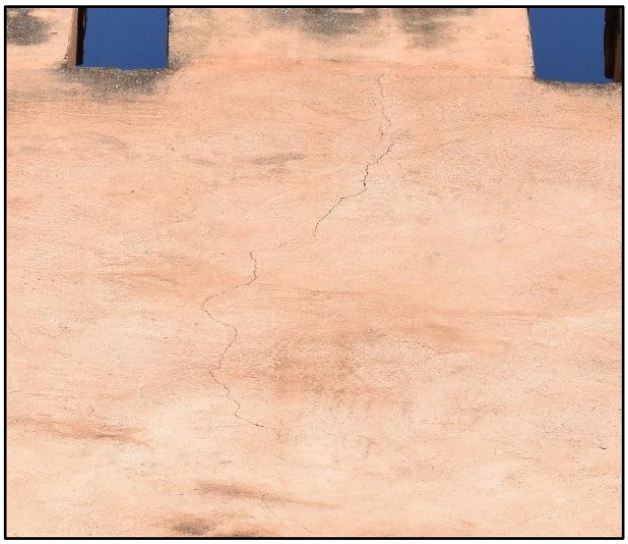
Indicatore di alterazione: Efflorescenze.	
Precipitazione cristallina, polverosa, poco aderente al supporto e generalmente biancastra composta da sali solubili.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Temperatura, piogge, inondazioni, opere/interventi, incendi e presenza di falde acquifere.	

Indicatore di alterazione: Concrezioni.	
Accumulazione coerente e irregolare di materiale sulla superficie. Può essere fortemente o debolmente aderente al substrato. Indicativo di un processo di precipitazione e successiva lisciviazione.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Temperature, pioggia, interventi/opere.	

Indicatore di alterazione: Depositi superficiali.	
Accumulazione di materiale estraneo di spessore variabile.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Incendi, fenomeni inquinanti, accessibilità.	

Indicatore di alterazione: Deposito di guano.	
Deposito di escrementi di spessore, coesione e adesione variabile (generalmente di uccelli o pipistrelli).	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Fenomeni biologici.	

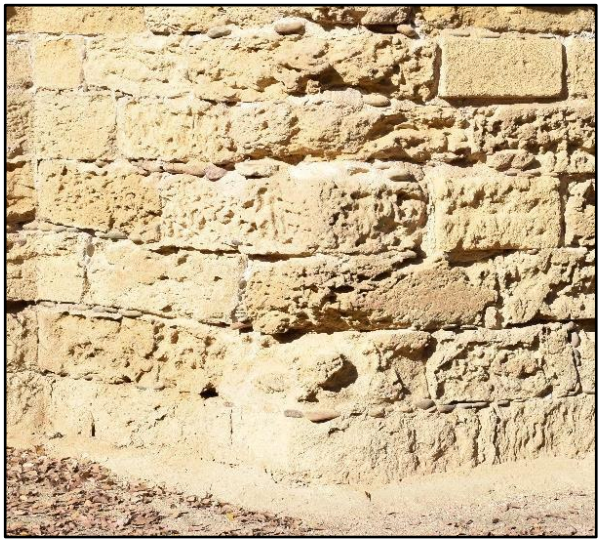
Indicatore di alterazione: Deformazione (Bombatura).	
Deformazione della forma o del volume del materiale che crea rigonfiamento. È comune ritrovarla nella base per via dello spostamento di materiale del nucleo del muro.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Pioggia, inondazione, peso.	

Indicatore di alterazione: Fessurazione.	
Formazione di soluzioni di discontinuità con spostamento lieve o nullo e separazione delle parti. Le dimensioni dell'apertura sono millimetriche.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Geotecnica, presenza di falde acquifere, temperature, sisma, inondazioni, interventi/opere, peso.	

Indicatore di alterazione: Fratturazione.	
Formazione di discontinuità nella malta con spostamento lieve o nullo e separazione delle parti. Le dimensioni dell'apertura sono di diversi millimetri, come minimo.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Geotecnica, presenza di falde acquifere, temperature, sisma, inondazioni, interventi/opere, peso.	

Indicatore di alterazione: Frammentazione.	
Formazione di discontinuità con spostamenti e separazione delle parti.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Geotecnica, presenza di falde acquifere, temperature, sisma, inondazioni, interventi/opere, peso.	

Indicatore di alterazione: Alterazione differenziale.	
Sottotipo di erosione che non avanza allo stesso modo nelle diverse zone in base alla consistenza e alla struttura. Di solito si deve alla perdita del cemento o della matrice, mentre rimangono alcune componenti in rilievo.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, vento, pioggia, inondazioni.	

Indicatore di alterazione: Arenizzazione.	
Separazione di singoli granelli.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, vento, temperature, pioggia, interventi/opere.	

Indicatore di alterazione: Esfoliazione.	
Separazione fisica di uno o vari strati in forma laminare e parallela alla superficie del muro. Lo spessore degli strati distaccati è di vari millimetri.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, temperature, pioggia, inondazioni, interventi/opere.	

Indicatore di alterazione: Scrostamento.	
Separazione fisica di uno o vari strati in forma laminare e parallela alla superficie del muro. Lo spessore degli strati distaccati è di vari centimetri.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, temperature, pioggia, sisma, inondazioni, incendi, interventi/opere.	

Indicatore di alterazione: Cavernizzazione / alveolizzazione.	
Perdita di materiale non uniforme nella superficie con formazione di cavità rotonde o alveoli di forma e dimensioni variabili.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, vento, pioggia, inondazioni.	

Indicatore di alterazione: Bolla.	
Rigonfiamenti semisferici ripieni d'aria.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Presenza di falde acquifere, temperature, pioggia, inondazioni, incendi, interventi/opere.	

Indicatore di alterazione: Biocrosta.	
Rivestimento biologico composto da microrganismi, alghe e licheni.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Fenomeni biologici.	

Indicatore di alterazione: Vegetazione.	
Crescita di arbusti e piante con radici.	
Agenti di degrado che ne motivano la comparsa: Fenomeni biologici.	