POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Interventi di recupero statico funzionale della grotta palazzese nel Comune di Polignano a Mare (BA)

Original
Interventi di recupero statico funzionale della grotta palazzese nel Comune di Polignano a Mare (BA) / Napoli, MARIA LIA. - In: GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. - ISSN 1121-9041. - STAMPA. - 2:142/2014(2014), pp. 54-57.

Availability:
This version is available at: 11583/2658623 since: 2021-08-18T16:23:03Z

Publisher:
Pàtron

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

25 April 2024

Interventi di recupero statico funzionale della grotta palazzese nel Comune di Polignano a Mare (BA)

M.L. Napoli*

* CNC Ingegneri S.r.l., Salerno

1. Introduzione

L'area costiera di Polignano a Mare, in provincia di Bari, è caratterizzata dalla presenza di numerose grotte marine originatesi dall'attività ciclica ed erosiva del moto ondoso e dall'ampliamento di cavità sotterranee di natura carsica scavate nel substrato carbonatico. Tra queste, la più nota e quella di maggior richiamo turistico della zona è la Grotta Palazzese.

Situata al di sotto del centro storico del Comune di Polignano a Mare, la grotta in oggetto è costituita da due ambienti semicircolari, dei quali il maggiore presenta un diametro di circa 30 m e un'altezza media di 20 m s.l.m.; l'accesso è consentito sia da terra, attraverso due scalinate (la prima antica e risalente al IX secolo e la seconda posta all'interno dell'albergo "Grotta Palazze-

Fig. 1. La Grotta Palazzese.
The Palazzese sea cave.

Il presente articolo descrive i principali interventi di stabilizzazione previsti per il recupero statico della Grotta Palazzese, situata al di sotto del centro storico del Comune di Polignano a Mare (BA) e interessata, nel novembre 2006, da un crollo di blocchi rocciosi. La causa del suddetto crollo è stata imputata all'azione congiunta erosiva e disgregante dello spray marino e del moto ondoso che, nel tempo, ha causato un progressivo sfarinamento della parte superficiale dell'ammasso calcarenitico costituente la grotta marina. Considerata la rilevanza turistica e paesaggistica del sito, ma soprattutto la presenza di strutture e infrastrutture stradali al di sopra dello stesso, si è reso necessario condurre studi, analisi e monitoraggi mirati a valutare i principali aspetti critici sui quali intervenire e progettare opere di consolidazione in grado di arrestare il progressivo fenomeno di erosione e degradazione della fascia di calcarenite più esposta all'aggressività dell'ambiente marino. A tal fine, sono stati previsti un'opera di protezione del piede della grotta marina, costituita da un cordolo perimetrale in calcestruzzo armato fibro-rinforzato, e il rivestimento delle pareti affioranti e della calotta con uno strato di spritz beton, anch'esso fibro-rinforzato, previa realizzazione di un sistema di drenaggio delle acque di percolazione circolanti all'interno dei giunti e delle fessurazioni presenti nella calcarenite sovrastante. In fase di progettazione, è stata posta particolare attenzione alla scelta di materiali e additivi con elevate caratteristiche meccaniche e resistenti agli agenti aggressivi naturali, per garantire una maggiore durabilità alle strutture, ma anche atti a mitigare gli impatti ambientali/visivi generati dai suddetti interventi.
Parole chiave: *Grotta marina, spray marino, fibre sintetiche, corrosione, infiltrazioni.*

Static functional recovery of the Palazzese sea cave in Polignano a Mare (BA). *The article describes the most important structural stabilization systems provided for the static functional recovery of the Palazzese sea cave, located below the old town of Polignano a Mare (BA). In November 2006, a rock mass fall occurred in the sea cave. The main cause that induced the instability was related to the combined erosive action of the sea spray and waves that, over time, has caused a progressive superficial crumbling of the calcarenitic rock mass of the sea cave. Considering the touristic and environmental relevance of the site, but mostly because of the presence of structures and road infrastructures on the top of the cave, it was necessary to carry out specific researches and monitoring activities, aimed at identifying the major critical aspects on which to intervene and at designing the most appropriate consolidation systems, in order to protect the most exposed rock belt against the progressive erosion and degradation of the calcarenite rock mass, due to the aggressive marine environment.*

To this end, have been provided works to protect both the foot of the sea cave, consisting of a fiber-reinforced concrete perimeter curb, and the lining of the outcrops of the sea cave with fiber-reinforced shotcrete, after the construction of a drainage system for the percolating water that circulates within the joints and cracks in the limestone above. At the design stage, particular attention has been paid to the choice of materials and additives with high mechanical properties and resistance to aggressive environment, in order to ensure greater durability of the structures, but also to mitigate the environmental impacts caused by these structural works.
Keywords: *Sea cave, sea spray, synthetic fibres, corrosion, leakage.*

se" (Fig. 1), che affaccia sulla cavità), sia da mare, con piccole imbarcazioni che consentono di raggiungere una caratteristica spiaggetta ciottolosa situata nella parte più interna della cavità.

È noto che i processi erosivi indotti negli ammassi rocciosi dall'azione aggressiva dell'ambiente marino possono indurre collassi nelle strutture rocciose (Barbero e Barla, 2010). Nell'area di studio, l'azione combinata nel tempo dell'impatto delle onde, dello spray marino, dei cloruri e dell'abrasione per congelamento – disgelo, hanno causato un lento e progressivo assottigliamento della volta della grotta. Tale processo erosivo, aggravato dalla natura calcarenitica della crosta superficiale, ha dato luogo ad un crollo all'interno della grotta il 9 novembre 2006 (Fig. 2).

L'episodio ha fatto temere per la sicurezza statica dei fabbricati e delle infrastrutture soprastanti la grotta e, quindi, per l'incolumità dei cittadini e dei turisti, questi ultimi presenti, in particolare, durante la stagione estiva.

Pertanto, negli anni a seguire, sono stati effettuati numerosi sopralluoghi, campagne di indagini, monitoraggi e studi volti alla individuazione delle criticità e alla valutazione delle condizioni di stabilità della grotta.

I risultati delle suddette analisi hanno messo in evidenza le seguenti principali criticità:

– uno sfarinamento superficiale della parete rocciosa, con scalzamenti al piede della grotta e con ridotto spessore della volta, in più punti inferiore a 10 m, causato dall'azione combinata dello spray marino, dei cloruri, dell'impatto delle onde marine e dell'abrasione per congelamento – disgelo;
– la presenza di cavità sotterranee occulte, ovvero non aventi sbocco verso l'esterno, rilevate, in particolare, nelle vicinanze all'area del crollo.

Pertanto, per stabilizzare e proteggere la grotta marina sono stati previsti i seguenti interventi di consolidamento:

– al piede della grotta: la realizzazione di un cordolo perimetrale in calcestruzzo, stabilizzato con ancoraggi di tipo passivo;
– sulla calotta: strato di spritz beton rinforzato con fibre e armato con rete metallica a doppia torsione, successivamente chiodato, previa realizzazione di fori drenanti, con microdreni all'interno, e inserimento di fasce drenanti (enkadrain) per incrementare la "superficie drenante" e favorire la raccolta e lo smaltimento delle acque di infiltrazione;
– per le cavità occulte: ispezioni preliminari e riempimento delle stesse mediante getti di calcestruzzo alleggerito.

Fig. 2. Spiaggia interna alla grotta Palazzese, sito del crollo del 2006.
Small cove located inside the Palazzese sea cave, where the 2006 rockfall occurred.

2. Interventi di consolidamento all'interno della grotta

2.1. Interventi sulla calotta

Le principali cause dello sfarinamento e della degradazione della parete rocciosa della grotta Palazzese sono ascrivibili all'aggressività dell'ambiente marino, all'azione dei cloruri e, in particolare, all'azione disgregante dello spray marino e al moto ondoso. Per contenere tale fenomeno e proteggere l'ammasso roccioso calcarenitico, si è optato per la realizzazione di uno strato di spritz beton fibro-rinforzato di spessore medio pari a 6 cm, armato con rete metallica e ancorato alla roccia mediante bulloni del tipo CT_BOLT, di lunghezza pari a 2,5 m e maglia 2,5 x 2,5 m. Il dimensionamento del rivestimento e delle chiodature è stato effettuato secondo il criterio di Barton, considerando un indice di classificazione Q pari a circa 4 (Barton et al., 1974), (Barton et al., 1992). Per contenere l'impatto ambientale/visivo di tale intervento, la miscela di cemento è stata additivata con coloranti in polvere, a base di ossidi minerali della linea "rheocolor", per far acquisire allo spritz caratteristiche cromatiche analoghe a quelle della roccia.

2.1.1. Impiego di fibre sintetiche all'interno dello spritz beton

Al fine di incrementare le caratteristiche strutturali dello spritz beton ed in particolare migliorarne la resistenza a fessurazione (il che garantisce una maggiore impermeabilità e quindi anche una maggiore durabilità dell'opera), è stato previsto l'impiego di fibre "Alcali Resistenti Spritz-filcem60AR" (Fig. 3), costituite da filato continuo di vetro ad alta resistenza ricoperto con polimero di tipo poliestere termoindurente, le quali non alterano la reologia del calcestruzzo, presentano modulo

Fig. 3. Le fibre "Alcali Resistenti Spritz-filcem60AR".
"Alcali Resistenti Spritz-filcem60AR" fibers.

elastico a trazione assimilabile a quello ottenibile con fibre in acciaio (ma, a differenza di queste ultime, sono caratterizzate da un'elevata resistenza agli agenti aggressivi naturali) e sono caratterizzate da una ottimale dispersione nel calcestruzzo, dovuta ad una assoluta assenza di fenomeni di "aggrovigliamento", in virtù di una particolare combinazione tra rigidità flessionale della macro-fibra e rapporto lunghezza/diametro equivalente della fibra stessa.

Tali fibre, oltre a migliorare l'aderenza tra calcestruzzo e armatura, grazie al loro "effetto" irrigidente e tenacizzante, aumentano la "vita utile" dell'opera (NTC – D.M. 14.02.2008), conferiscono al calcestruzzo la capacità di trasferire sforzi residui tra le facce di una fessura, comportando un sostanziale cambiamento nel comportamento strutturale di elementi in calcestruzzo armato, soprattutto per quel che riguarda la fessurazione, la distanza tra le fessure e la loro ampiezza (F. Minelli, 2010) e consentono, quindi, di incrementare la tenacità dello spritz (resistenza all'avanzamento del processo fessurativo), garantendo una migliore protezione della sottostante calcarenite.

2.1.2. Sistema di drenaggio delle acque di percolazione

Considerata la geometria non regolare della calotta della grotta e l'inevitabile presenza di acque di percolazione circolanti all'interno dei giunti e delle fessurazioni presenti nella calcarenite sovrastante, per evitare che, nel tempo, ristagni di acqua al di sopra del contatto roccia – spritz potessero compromettere la stabilità del rivestimento stesso, l'intervento di consolidamento della grotta è stato completato con la realizzazione di fori drenanti, di lunghezza pari a circa 2,5 m, all'interno dei quali sono stati inseriti specifici microdreni in PVC. Tali elementi sono stati disposti in corrispondenza delle aree maggiormente depresse della calotta e delle principali discontinuità rilevate. Al fine di incrementare ulteriormente la superficie drenante del suddetto sistema, sono stati posizionati, in senso radiale a partire dai fori drenanti, delle fasce di geosintetici drenanti tipo "enkadrain", aventi lunghezza massima di circa 2 m e uno spessore di circa 1 cm.

I suddetti geocompositi sono, infatti, dotati di elevata capacità drenante (applicati in verticale, smaltiscono più di 2.880 litri/ora per metro sotto un carico statico di 50 kN/m^2) e il loro ridotto spessore ne consente il posizionamento all'interno dello strato di spritz (Fig. 4).

2.2. Cordolo perimetrale in calcestruzzo

La sollecitazione ciclica delle onde marine, frangendosi con elevata energia contro la falesia, trascinando ciottoli e sabbia e generando forti pressioni idrauliche e successive decompressioni, ha provocato, nel tempo, lo scalzamento al piede della parete della Grotta Palazzese.

Pertanto, al fine di prevenire l'instabilità della base della cavità, è stato previsto il rivestimento della parte di Grotta sommersa, mediante realizzazione di un cordolo perimetrale in calcestruzzo armato "solidarizzato" alle retrostanti pareti mediante ancoraggi di tipo passivo, realizzati con barre Dywidag Æ 32 mm a filettatura continua in acciaio da c.a.p. st 835/1030 N/mm^2.

In relazione allo sviluppo planimetrico totale dell'elemento in calcestruzzo, di lunghezza pari a circa 265 m, è stata valutata la necessità, in fase costruttiva, di realizzare 6 giunti strutturali, la cui impermeabilità sarà garantita mediante l'impiego di giunti "water-stop".

Per limitare l'impatto ambientale del cordolo, è stato previsto il rivestimento delle parti affioranti dello stesso con pietrame locale di medie dimensioni e caratteristiche cromatiche analoghe a quelle della calcarenite.

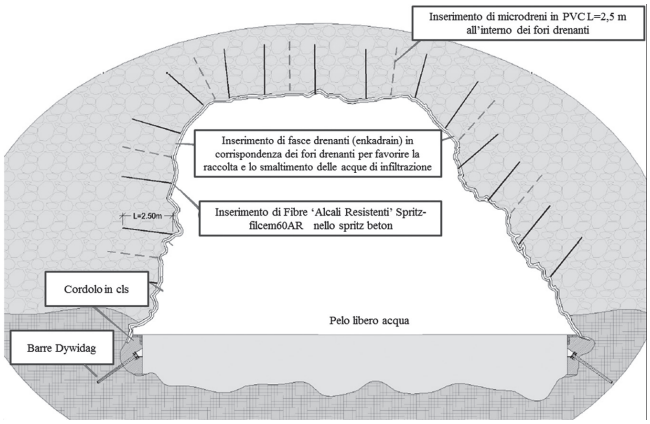

Fig. 4. Schema degli interventi previsti per il recupero statico della grotta Palazzese.
Stabilization systems scheme provided for the static recovery of the Palazzese sea cave.

2.2.1. Impiego di additivi e fibre all'interno del calcestruzzo

Per garantire idonee caratteristiche di impermeabilità e durabilità al cordolo, è stato previsto l'impiego di additivi e di fibre sintetiche, adeguati all'utilizzo in ambiente marino, di seguito indicati:

– l'additivo in polvere Mapeplast UW che, abbinato al superfluidificante Dynamon SX MC Zero, consente di confezionare calcestruzzi estremamente coesivi, facili da pompare, senza dilavamento della pasta cementizia, e quindi idonei per la realizzazione di getti subacquei;
– l'inibitore di corrosione INHIBITOR C 10 che determina una benefica azione di prevenzione/ ritardo della corrosione delle armature, soprattutto nei confronti di quella innescata dalla penetrazione dei cloruri, senza produrre alcun effetto negativo sulle prestazioni meccaniche del calcestruzzo;
– le fibre di rinforzo (antifessurative) in polipropilene MAPEFIBRE CN 54 (2 kg/mc di impasto) che, oltre a migliorare le caratteristiche meccaniche della struttura, consentono di ridurre i fenomeni fessurativi garantendo una migliore protezione delle barre di armatura poste all'interno del cordolo (Di Prisco, 2012). La natura sintetica di tali fibre, a differenza di quelle classiche in acciaio, garantisce la "non attaccabilità" rispetto ai fenomeni corrosivi cui è naturalmente soggetto l'acciaio, evitando, pertanto, la formazione di ruggine e il conseguente decadimento della qualità e dell'estetica degli interventi in grotta.

2.2.2. Modalità di collegamento spritz-cordolo

Come precedentemente illustrato, gli elementi "protettivi" da realizzare all'interno della grotta sono costituiti, sostanzialmente, dal cordolo di base e dal rivestimento in spritz beton. A tal fine, è risultato di fondamentale importanza garantire, oltre all'uniformità dei suddetti singoli elementi, l'adeguatezza del "nodo" di collegamento tra gli stessi. Pertanto, è stato ritenuto indispensabile estendere l'intervento con spritz e rete fino a quota –0,50 m rispetto al livello medio mare (all'interno della zona di escursione della marea) e, successivamente, realizzare il cordolo a "copertura" degli stessi (Fig. 5).

3. Riempimento delle cavità occulte

Successivamente alla verifica della forma delle cavità occulte, effettuate con videoispezione all'interno dei fori dei sondaggi mediante microtelecamera, è previsto il riempimento delle stesse mediante getti, eseguiti dal

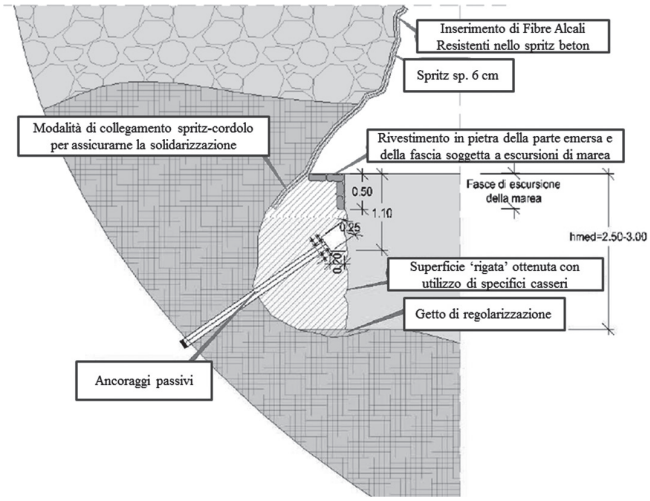

Fig. 5. Dettaglio del collegamento spritz – cordolo.
Detail of the connection between the shotcrete and the concrete curb.

basso verso l'alto, di calcestruzzo alleggerito avente le seguenti caratteristiche:

– cemento CEM II/A-L32,5 100 kg/m^3
– acqua 150 kg/m^3
– mapeair LA/P 0,5 kg/m^3 (Additivo)
– aggregati (D_{max} = 12 mm) 1400 kg/m^3

L'additivo utilizzato, ad azione schiumogena, consente di inglobare eventuali volumi d'aria e permette, quindi, la produzione calcestruzzi leggeri e facilmente pompabili, la cui massa volumica finale è di circa 1650-1770 kg/m^3, con resistenza dell'ordine di 30-50 kg/cm^2.

Bibliografia

Barbero, M., Barla, G., 2010. *Stability Analysis of a Rock Column in Seismic Conditions.* Rock Mechanics and Rock Engineering, vol. 43, p. 845-855.

Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. 1974. *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support.* Rock Mech. 6 (4), pp.189-239.

Barton, N., By, T.L., Chryssanthakis, L., Tunbridge, L., Kristiansen, J., Løset, F., Bhasin, R.K., Westerdahl, H. and Vik, G. 1992. *Comparison of prediction and performance for a 62 m span sports hall in jointed gneiss.* Proc. 4th int. rock mechanics and rock engineering conf. Torino. Paper 17.

Di Prisco, M., Plizzari, G., Vandewalle, L., 2012. *Calcestruzzo fibrorinforzato nel nuovo codice modello FEB.* INGENIO, pp.1-10.

NTC – D.M. 14.02.2008.

Minelli, F., Tiberti, G., Plizzari, G.A., 2010. *Garantire durabilità e controllo della fessurazione in elementi in c.a. con l'utilizzo del calcestruzzo fibro-rinforzato: studio sperimentale.* Enco Journal, n. 51, pp. 6-11.