



1



2

# LA FUNICOLARE DI CHIAIA

**La più antica delle quattro funicolari che collegano i diversi quartieri di Napoli è stata recentemente sottoposta ad un attento restyling**

La funicolare di Chiaia è un impianto di trasporto pubblico della città di Napoli, e ogni giorno questa linea viene utilizzata da circa 15.000 passeggeri tra napoletani e turisti che utilizzano i due treni, composti da due vetture, che in soli 4 minuti e con una frequenza media di 10 minuti circa, collegano la zona centrale del Vomero con il quartiere Chiaia, nella zona soprastante la Riviera di Chiaia. La funicolare fu costruita sul finire del XIX secolo, precisamente nel 1889, ed è stata la prima delle quattro funicolari partenopee ad essere terminata. Inizialmente era a vapore, fu poi elettrificata agli inizi del '900 e attualmente il percorso si compone di quattro stazioni, compresi i due capolinea. Dal luglio 2003 ad aprile 2004 la funicolare è stata chiusa all'esercizio per essere sottoposta ad un ampio intervento di restauro e di adeguamento alle norme di sicurezza; inoltre sono state rifatte le stazioni in stile liberty, a monte e a valle, riportandole all'antico splendore

**Lo stato di fatto**

L'impresa che ha eseguito i lavori è stata affiancata nell'intervento dall'Un-

derground Technology Team di Mapei (un gruppo di tecnici di costruzioni in sotterraneo) che, oltre a verificare in loco i lavori necessari, ha consigliato i prodotti più idonei alla realizzazione dell'intervento. L'intradosso della galleria (lunghezza 536 m, dislivello 161 m, pendenza media 29%) presentava diverse venute d'acqua, sia puntuali che diffuse, oltre a un avanzato stato di erosione del rivestimento costituito da materiale tufaceo. In alcuni tratti veniva inoltre rilevata la presenza di calcestruzzo proiettato (applicato in un secondo tempo a scopo protettivo), con evidenza di possibili e pericolosi distacchi, a causa del materiale a suo tempo, probabilmente, confezionato e applicato in maniera errata. Infatti i tecnici avevano rilevato macropori nella matrice cementizia, prova di un rapporto acqua/cemento elevato con conseguente scarsa resistenza meccanica e ridotta adesione al supporto. Inoltre la galleria, con una copertura compresa tra 6 e 20 m, era sovrastata, per una lunghezza di circa 20 m, da un giardino (il cui sottofondo era probabilmente privo di impermeabilizzazione), oppure impermeabilizzata in



Foto 1. Una veduta del golfo di Napoli con il Vesuvio.

Foto 2. Ingresso della funicolare dal quartiere Vomero.

Foto 3. Un'immagine della galleria prima dell'intervento con evidenziato lo stato di degrado.

modo poco efficace, e deteriorata nel tempo. In questa zona la presenza di umidità diffusa era molto accentuata. E' risultato impossibile intervenire direttamente sull'impermeabilizzazione del sottofondo del giardino, caratterizzato dalla presenza di alberi anche ad alto fusto. La rimozione di questi ultimi, anche se temporanea, avrebbe potuto procurare danni alla flora stessa, oltre che problemi e costi sia di carattere operativo che gestionale con la proprietà. L'unica soluzione è stata quella di intervenire dall'interno della galleria.

**Ripristino della volta e impermeabilizzazione**

Lo scopo dell'intervento era quello di eliminare le venute d'acqua all'interno



della galleria e di fermare il fenomeno di erosione che attaccava il tufo, materiale con il quale era stato rivestito l'intradosso della galleria.

La dettagliata fase di diagnosi iniziale ha evidenziato la necessità di procedere ad un intervento di impermeabilizzazione perché l'intradosso della galleria presentava venute di acqua, sia puntuali che diffuse, su circa il 50% della superficie.

E' stato indispensabile procedere ad un'accurata analisi delle zone oggetto dell'intervento in quanto, date le proprietà di permeabilità del tufo nonché lo stato di erosione dello stesso, era necessario diversificare le modalità di intervento a seconda del grado di ammaloramento del materiale.

L'intervento è iniziato con un'accurata idropulizia ad alta pressione dell'intradosso, così da eliminare meccanicamente ogni traccia di materiale incoerente dal supporto tufaceo, le parti friabili o prossime al distacco, fino a raggiungere un sottofondo solido. Questa operazione ha anche reso la superficie sufficientemente scabra per l'applicazione della successiva malta da ripristino.

L'idropulizia ha portato a vista il supporto in mattoncini di tufo ancorati con malte cementizie e ha consentito di individuare meglio le zone umide, così da poter decidere il tipo di intervento appropriato a seconda della tipologia di venute d'acqua, localizzate e diffuse.

#### **Venute d'acqua, localizzate o diffuse? Come intervenire**

Nel caso di venute d'acqua localizzate si è intervenuto eseguendo delle stuccature utilizzando il legante idraulico a presa e indurimento rapidissimi LAMPOSILEX, mediante l'applicazione a mano dell'impasto direttamente sulla venuta d'acqua, permettendo così l'interruzione istantanea del flusso, anche se in lieve pressione.

#### **Quando invece le venute di acqua apparivano diffuse, l'intervento si è articolato in più fasi**

##### *Prima fase – Iniezione*

Per prima cosa sono state eseguite delle iniezioni a raggiera distribuite sul profilo della galleria impiegando il gel idrofilo MAPEGEL 50 a base di metacrilati e costituito da 3 componenti. Grazie

alla sua bassa viscosità, il prodotto riesce a penetrare facilmente attraverso la microporosità e gli spazi ristretti sigillandoli perfettamente. L'utilizzo di MAPEGEL 50 ha avuto l'obiettivo di creare una barriera chimica durevole nel tempo contro l'acqua proveniente da monte.

In particolare si è provveduto ad eseguire dei fori nel supporto (lunghezza pari a 80 cm circa, diametro 14 mm, ed interasse di circa 60 cm), in modo da ottenere un riempimento omogeneo e continuo della superficie in tufo.

Di seguito è stata eseguita una pulizia dei fori con aria compressa e sono state montate delle cannule di plastica all'interno dei fori stessi per l'esecuzione delle iniezioni di gel idrofilo.

L'iniezione è stata eseguita tramite una pompa per resine bicomponenti in grado di miscelare i due componenti di MAPEGEL 50 con costanza volumetrica, attraverso l'impiego di un miscelatore statico posizionato a boccaforo, permettendone la catalizzazione all'interno del supporto in un tempo compreso tra i 10 e i 20 secondi.

Al termine dell'iniezione - quando la pressione indotta dalla macchina non



Collaudo finale in galleria.

era più sufficiente alla permeazione del gel (prova del completo intasamento) – le cannule sono state chiuse ripiegandole su se stesse e serrandole tramite una fascetta in plastica.

Le cannule sono state poi rimosse a fine lavoro tagliandole. L'elevata fluidità del gel ha permesso una facile permeazione del prodotto attraverso il mezzo da iniettare, anche nel caso di presenza di microporosità oppure spazi ristretti, garantendo quindi il consolidamento e l'impermeabilizzazione della struttura.

Dopo l'indurimento, il gel manifesta un'elevata elasticità e un'ottima resistenza chimica verso i principali liquidi organici ed inorganici che possono venire in contatto con il prodotto dopo l'iniezione.

*Seconda fase – Captazione dell'acqua*  
Successivamente, subito a ridosso degli sbarramenti eseguiti verso monte, sono stati eseguiti tagli nel tufo, utilizzando un'ideale apparecchiatura a disco rotante, così da comprendere l'intero sviluppo del profilo della galleria e da poter costituire delle canalizzazioni "naturali" per le acque che, anche in tempi successivi all'intervento, si sarebbero potute manifestare anche in zone precedentemente trattate perché non soggette ad infiltrazioni di alcun tipo. Le dimensioni delle canalizzazioni sono

state eseguite infatti considerando un afflusso di acqua ben superiore a quello verificatosi fino ad allora, così da assicurare la funzionalità del sistema anche in condizioni di forte affluenza.

La canalizzazione è stata dimensionata con misure di 6x6x6 cm ed eseguita tramite idonea apparecchiatura da taglio.

*Terza fase – Ripristino e chiusura del sistema*

Dopo aver pulito la superficie della

canalizzazione con aria in pressione, si è provveduto all'applicazione di un'apposita bandella in PVC (MAPEBAND PVC) dello spessore di 1 mm, rinforzata ai bordi esterni con un tessuto in poliestere.

L'applicazione della bandella in PVC è stata eseguita utilizzando la malta epossidica ADESILEX PG1 a consistenza tissotropica, su superficie asciutta o leggermente umida in modo tale da garantire una perfetta tenuta, anche su

## IN PRIMO PIANO

### MAPEQUICK AF 1000

È un accelerante liquido con il quale è possibile produrre malte e calcestruzzi proiettati caratterizzati da tempi di presa molto rapidi. Il prodotto può essere utilizzato sia con il sistema di spruzzo per via umida, sia con il sistema per via secca. Grazie al suo potere accelerante e all'assenza di alcali, è particolarmente adatto per la realizzazione



di calcestruzzi proiettati con elevate resistenze meccaniche alle brevissime (fino a 60 minuti), alle brevi (fino a 24 ore) e alle lunghe stagionature (oltre 24 ore). È particolarmente idoneo per la proiezione di malte e calcestruzzi in presenza di venute d'acqua durante la fase di scavo. Può essere applicato con successo nella messa in sicurezza di tunnel durante la fase di scavo in avanzamento; nel consolidamento di rocce e scarpate; per preparare calcestruzzi proiettati per la riparazione strutturale in galleria; per preparare calcestruzzi proiettati ad alte prestazioni meccaniche; per il rivestimento definitivo di gallerie mediante l'applicazione di calcestruzzi proiettati ad elevate resistenze meccaniche.

materiali meccanicamente poco resistenti come il tufo.

La funzione della bandella è stata quella di impedire il percolamento dell'acqua e di poter procedere al suo successivo inglobamento tramite malte speciali impermeabili che necessitano, in fase di applicazione, di un supporto quanto più asciutto possibile onde evitare il fenomeno di dilavamento, comune a tutti i prodotti a base di cemento.

### Applicare la malta a spruzzo

L'intervento è stato completato con l'applicazione a spruzzo della malta premiscelata monocomponente tisotropica fibrinforzata MAPEGROUT T60, miscelata con un rapporto acqua/polveri 0,2, il tutto per uno spessore di 4-5 cm. Prima dell'applicazione della malta è stata posta in opera una rete elettrosaldata zincata.

Le caratteristiche tecniche di MAPEGROUT T60 sono: un'elevata resistenza meccanica per conferire un consolidamento di tipo strutturale (resistenza a compressione a 28 gg > 60 N/mm<sup>2</sup>); un'elevata adesione al supporto (> 2 N/mm<sup>2</sup>, misurata a strappo su calcestruzzo), trattandosi di materiale facilmente erodibile e poco consistente; la presenza di fibre per migliorare le caratteristiche di elasticità (energia di deformazione alla prova del punzonamento); un'elevata permeabilità; un'elevata stabilità dimensionale, garantita dall'agente espansivo che è in grado di compensare il ritiro idrometrico; la possibilità di applicarla a spruzzo, tramite pompa intonacatrice, assicurata dalla consistenza tisotropica della malta, dopo la miscelazione con acqua.

La posa a spruzzo della malta è stata eseguita impiegando una normale intonacatrice, ma, dovendo miscelarla con l'accelerante di presa direttamente all'interno della lancia di proiezione, è stato costruito artigianalmente in cantiere un tubo a T che, applicato all'esistente foro della lancia adibito all'ingresso dell'aria, consentisse invece l'ingresso combinato di aria e accelerante nebulizzato, aumentandone così la dispersione e quindi la reattività con il cemento contenuto nell'impasto.

L'aggiunta dell'accelerante alla malta viene fatta in funzione della portata dell'intonacatrice, ed è dosato da una pompa peristaltica a regolazione di portata gestibile tramite potenziometro. La particolarità dell'intervento è consistita nell'applicazione della malta tramite spruzzo per uno spessore tota-


le di circa 5 cm in un'unica mano inglobando la rete elettrosaldata, le canaline e tutto il profilo della galleria autosostenendosi e iniziando a sviluppare la resistenza meccanica sin dai primi minuti (a partire dal fine presa).

Questi risultati sono stati resi possibili dall'utilizzo dell'accelerante di presa di ultima generazione di tipo alkali free MAPEQUICK AF 1000, in sostituzione di acceleranti di presa tradizionali (silicato di sodio o alluminato di sodio/potassio). Questa scelta ha permesso una serie di vantaggi: una sostanziale riduzione degli alcali, normalmente presenti nei silicati o alluminati alcalini, che possono indurre la reazione alcali-aggregato, un fenomeno che determina il degrado del manufatto cementizio; il miglioramento delle condizioni di sicurezza dell'ambiente di lavoro, attraverso la riduzione dell'aggressività degli acceleranti, per evitare lesioni alla pelle, danni agli occhi e alle prime vie respiratorie; la riduzione del rimbalzo e dei componenti solubili nella malta proiettata, per limitare l'inquinamento ambientale; l'incremento dello sviluppo delle resistenze meccaniche (il calcestruzzo e/o malta additivato con gli acceleranti alcalini è caratterizzato da una perdita di prestazioni meccaniche del 15-50%); il continuo e consistente incremento delle resistenze meccaniche durante le prime ore di stagionatura; per finire la riduzione dei costi di costruzione. Inoltre il materiale applicato a spruzzo (malta premiscelata + accelerante alkali free) è risultato essere impermeabile (secondo UNI 206), grazie al ridotto rapporto acqua/cemento ed alle caratteristiche conferite alla malta dall'accelerante di presa impiegato che, data la sua perfetta compatibilità chimica con il cemento contenuto all'interno della malta stessa, ne ha permesso una rapidissima e completa idratazione. Infatti, se si va ad analizzare il comportamento del cemento quando entra in contatto con un accelerante, si realizza quanto sia importante oggi impiegare acceleranti di tipo alkali free piuttosto che silicati o alluminati.

L'accelerante di presa impiegato, MAPEQUICK AF 1000, dosato in ragione del 4% in peso sul peso della malta, ha conferito al cemento contenuto nel prodotto premiscelato, la possibilità di idratarsi completamente ed in tempi rapidissimi.

La completa e rapida idratazione del cemento contenuto nella malta ha reso possibile il suo autosostentamento per

spessori elevati, lo sfrido da rimbalzo contenuto entro il 10% del peso posto in opera e soprattutto un'elevata produttività accompagnata da una facilità di posa in opera.

Il positivo risultato dell'intervento è oggi visibile transitando con la funicolare a testimonianza dell'elevata qualità dei materiali impiegati nonché la loro applicazione secondo le più avanzate tecnologie, e il coordinamento dei lavori dei tecnici altamente specializzati del Mapei Underground Technology Team. 

**Prodotti Mapei:** i prodotti citati in questo articolo appartengono alle linee "Prodotti per Edilizia" e "Prodotti per costruzioni in sotterraneo". Le relative schede tecniche sono contenute nel sito internet [www.mapei.com](http://www.mapei.com). I prodotti e i sistemi Mapei per la protezione e la riparazione delle strutture in calcestruzzo hanno ottenuto la marchiatura CE in conformità alla norma EN 1504-3.

**Mapegrout T60 (CE EN 1504-3, R4):** malta tisotropica fibrinforzata resistente ai solfati per il risanamento del calcestruzzo.

**Mapequick AF 1000:** accelerante di presa liquido, privo di alcali per malte e calcestruzzi proiettati.

**Lamposilex:** legante idraulico a presa ed indurimento rapidissimi per il bloccaggio di infiltrazioni di acqua.

**Mapeband:** nastro gommatto con feltro resistente agli alcali per sistemi impermeabilizzanti cementizi e guaine liquide.

**Adesilex PG1:** adesivo epossidico a consistenza tisotropica per incollaggi strutturali.

**Mapegel 50:** gel idrofilo tricomponente per il consolidamento dei terreni e l'iniezione di sbarramento in calcestruzzi.

## SCHEDA TECNICA

**Funicolare di Chiaia, Napoli**

**Anno di costruzione:** 1889

**Intervento Mapei:** fornitura di prodotti per l'impermeabilizzazione delle superficie dell'intradosso e per il ripristino della volta

**Anno di intervento:** 2003-2004

**Committente:** Azienda Napoletana Mobilità, Napoli

**Impresa esecutrice:** Cimarosa Scarl, Forlì

**Coordinamento Mapei:** Marco Manicastro, Enrico Dal Negro, Elisa Portigliatti, Alessandro Boscaro (Mapei SpA)