

Marco Borroni  
Buzzi

## Hinfra, il viaggio è cominciato

## Hinfra, die Reise hat begonnen

LA START-UP HINFRA, PARTECIPATA DA BUZZI, IN BREVE TEMPO È PASSATA DALL'IDEA DI UN APPROCCIO INNOVATIVO PER LA REALIZZAZIONE DI GRANDI OPERE ALLA PRIMA APPLICAZIONE IN UN CANTIERE REALE PER IL RIFACIMENTO DI TRE TRATTI DI GALLERIA.

DAS START-UP-UNTERNEHMEN HINFRA, AN DEM BUZZI BETEILIGT IST, HAT SICH IN KURZER ZEIT VON DER ERSTEN IDEE EINES INNOVATIVEN ANSATZES ZUR DURCHFÜHRUNG VON GROSSPROJEKTEN ZUR ERSTEN ANWENDUNG AUF EINER REALEN BAUSTELLE ZUR ERNEUERUNG VON DREI TUNNELABSCHNITTEN ENTWICKELT.

Presentato su Portland n. 84 di aprile 2022, Hinfra è un hub tecnologico per la realizzazione di grandi opere di ingegneria civile. Start-up dinamica, si avvale del supporto industriale e tecnico di Buzzi e punta a implementare tecnologie innovative partendo dal “calcestruzzo digitale”, un calcestruzzo green che rispecchia i parametri della sostenibilità.

All'epoca un semplice concetto, un'idea ancora da sviluppare, un test iniziale per dimostrarne la validità e fattibilità. Ed ora, a meno di due anni di distanza, la prima galleria reale è stata realizzata.

Ma andiamo con ordine: è interessante seguire tutti i temi affrontati e le difficoltà



1. IL PRIMO PROTOTIPO REALIZZATO NEL LABORATORIO SPERIMENTALE PRESSO LO STABILIMENTO BUZZI UNICEM DI TRINO (VC) DER ERSTE IM VERSUCHSLABOR DES WERKS VON BUZZI UNICEM IN TRINO (VC) HERGESTELLTE PROTOTYP

nel sostenere un metodo innovativo che si scontra, inevitabilmente, con prassi consolidate e normale resistenza al cambiamento.

Lo sviluppo del materiale è stato orientato su due direttrici principali: il mantenimento della lavorabilità (controllato con grande precisione tra una e due ore per permettere il confezionamento, trasporto e messa in opera) e lo sviluppo rapidissimo delle resistenze (per permettere la rimozione dei casseri ed il proseguimento della costruzione). Questa fase è stata ridotta fino ad un minimo di circa due ore, in funzione anche delle temperature ambientali. Un'importante caratteristica del materiale è la capacità di auto-sostenersi, cioè di mantenere la propria forma alla rimozione dei casseri, anche nelle primissime fasi di sviluppo delle resistenze. Lo sviluppo del calcestruzzo è andato di pari passo con lo sviluppo del cemento: a partire dal legante speciale SL05 prodotto dallo stabilimento di Trino è stata realizzata una versione specifica per Hinfra.

Un calcestruzzo fibrorinforzato con fibre metalliche, con comportamento incrudente per conferire un comportamento duttile alle strutture, che può quindi sostituire, in tutto o parzialmente, le armature di rinforzo. La matrice di fibre metalliche conferisce anche un eccellente comportamento nella resistenza al fuoco.

I calcestruzzi fibrorinforzati strutturali, sebbene prodotti da tempo, hanno ricevuto un inquadramento nelle norme di calcolo solo recentemente e in Italia sono soggetti ad una autorizzazione ministeriale prima del loro utilizzo: si tratta di un processo complesso e lungo, di cui Hinfra è pioniere nel campo del calcestruzzo preconfezionato. L'esperienza sviluppata sarà anche utile per ottenere analoghe autorizzazioni per la gamma prodotti di Unical.

Contestualmente alle fasi di messa a punto del prodotto, abbiamo iniziato la ricerca di una prima applicazione, con



2



3

2. GALLERIA "COLLE", AUTOSTRADA A1, PRESSO FIRENZE  
TUNNEL „COLLE“, AUTOBAHN A1, BEI FLORENZ

3. PROVE DI RESISTENZA AL FUOCO  
TEST ZUR FEUERBESTÄNDIGKEIT

una serie di dimostrazioni nel nostro campo-prove in scala reale: sono stati invitati progettisti e tecnici di imprese di costruzioni e gestori della rete autostradale italiana, ricca di gallerie con urgenti necessità di interventi di ricostruzione.

I contatti hanno avuto esito positivo con il gruppo Autostrade per l'Italia,

per il rifacimento di tre gallerie sulla principale autostrada italiana A1, in località Barberino del Mugello, nei pressi di Firenze.

In questa occasione si è scelto di sperimentare un metodo "ibrido" con l'utilizzo del calcestruzzo di Hinfra ma una messa in opera con cassero tradizionale, anziché col cassero estrusore

del nostro sistema ETLR (Extruded Tunnel Lining Regeneration). In questo caso, l'esistente calotta viene demolita solo in piccola parte, con metodi tradizionali ed in seguito se ne realizza una nuova, che garantirà le prestazioni strutturali e di durabilità necessarie. L'utilizzo di calcestruzzi fibrorinforzati e l'eliminazione delle armature di rinforzo tradizionali ha richiesto un importante cambio di approccio alla progettazione, con criteri di calcolo e verifiche strutturali previste dai nuovi Eurocodici, ma ancora poco applicate. Hinfra ha portato, come supporto al progettista, collaborazioni con i Politecnici di Torino e Milano che hanno validato le soluzioni progettuali e ne hanno agevolato l'approvazione presso il Ministero delle Infrastrutture, committente ultimo dell'opera. Parallelamente sono proseguite le fasi di messa a punto della miscela di calcestruzzo, di messa in opera e le prove sperimentali per la verifica delle prestazioni allo stato indurito.

Come ulteriore supporto scientifico sono state effettuate prove su anelli di galleria da noi realizzati presso il laboratorio del Joint Research Centre (il centro di ricerche della Commissione Europea); gli anelli sono stati provati simulando diverse condizioni di carico, fino alla rot-

tura per verificarne il comportamento duttile. Oltre a confermare le prestazioni del materiale, le prove hanno confermato le assunzioni di calcolo e le simulazioni numeriche effettuate a livello di progetto, garantendo al progettista la necessaria confidenza nel comportamento dell'opera.

Le gallerie si trovano vicine all'impianto Unical di Settimello, ubicato a sua volta all'interno dell'omonima cementeria: questo ha notevolmente semplificato la gestione logistica della fornitura affidando la produzione all'impianto esistente e potendo contare sugli standard qualitativi del nostro gruppo, sulla presenza di un laboratorio operativo e sulla disponibilità di trasportatori già qualificati.

Ci siamo quindi concentrati sulle tematiche più specifiche di cantiere, valutando con prove sperimentali le spinte sul cassero e le modalità di pompaggio, l'allestimento di aree di lavaggio dei mezzi, le procedure di qualifica ed accettazione del materiale, l'informazione a tutte le maestranze sulle modalità di utilizzo del calcestruzzo. Hinfra, infatti, si è assunta il compito di autorizzare la rimozione del cassero nel più breve tempo possibile, per velocizzare i tempi di realizzazione dell'opera.

A fronte dell'usuale realizzazione di un getto di calotta (6 metri di lunghezza) ogni 4 giorni, stiamo realizzando uno o due getti al giorno, riducendo a meno di un quarto i tempi di realizzazione dell'opera! E nei prossimi cantieri con l'utilizzo del nostro cassero per l'estruzione pensiamo di dimezzare ancora questi tempi.

Sorprendentemente, ma poi non tanto, il punto più semplice è stata la trattativa commerciale: a fronte di una ragionevole argomentazione del prezzo richiesto non abbiamo incontrato difficoltà nella sua accettazione, soprattutto per il grande valore per il cliente della nostra soluzione.

Le chiavi del successo sono nella combinazione di diversi fattori: un'idea innovativa, l'entusiasmo delle persone, la flessibilità di una start-up ed il supporto di una grande azienda strutturata, che ha messo a disposizione conoscenze, attrezzature, contatti e reputazione per garantire la solidità ed affidabilità nel passare dall'idea alla realtà su scala industriale.

4. CAMPO PROVE SPERIMENTALI: CALOTTE SU CUI SONO STATI PRELEVATI PROVINI CILINDRICI  
EXPERIMENTELLES TESTFELD: GEWÖLBE, AUS DENEN ZYLINDRISCHE PROBEN ENTNOMMEN WURDEN



**H**infra, das bei Portland Nr. 84 (April 2022) vorgestellt wurde, ist ein Technologiezentrum für große Tiefbauprojekte. Das dynamische Start-up-Unternehmen, das von Buzzi industriell und technisch unterstützt wird, hat sich zum Ziel gesetzt, innovative Technologien angefangen beim „digitalen Beton“, einem grünen Beton, der die Parameter der Nachhaltigkeit widerspiegelt, einzuführen. Damals war es ein einfaches Konzept, eine noch zu entwickelnde Idee, ein erster Test, um ihre Gültigkeit und Durchführbarkeit zu beweisen. Und nun, weniger als zwei Jahre später, ist der erste reale Tunnel umgesetzt worden.

Aber der Reihe nach: Es ist interessant, alle behandelten Themen zu betrachten. Es ist auch interessant, sich mit den Schwierigkeiten auseinanderzusetzen, innovative Methoden aufrechtzuerhalten und zu verfolgen. Diese Methoden kollidieren unweigerlich mit etablierten Praktiken und dem normalen Widerstand gegen Veränderungen. Die Entwicklung des Materials orientierte sich an zwei Schwerpunkten: die Verarbeitbarkeit aufrecht zu erhalten (mit großer Präzision zwischen ein und zwei Stunden gesteuert, um Verpackung, Transport und Einbau zu ermöglichen) und die sehr schnelle Entwicklung von Festigkeit (um das Entfernen der Schalungen und die Fortsetzung des Baus zu ermöglichen). Diese Phase wurde auch in Abhängigkeit von den Umgebungstemperaturen auf ein Minimum von etwa zwei Stunden verkürzt. Eine wichtige Eigenschaft des Materials ist seine Fähigkeit, selbst in den sehr frühen Phasen der Festigkeitsentwicklung sich selbst zu erhalten, d. h. seine Form nach dem Entfernen der Schalungen beizubehalten. Die Entwicklung des Betons ging Hand in Hand mit der Entwicklung des Zements: Ausgehend von dem im Werk Trino hergestellten Spezialbindemittel SLO5 wurde eine spezifische Version für Hinfrac entwickelt. Dabei handelt es sich um einen faserverstärkten Beton mit Metallfasern, der sich durch Kalthärtung verformt und somit ganz oder teilweise die Bewehrung ersetzen kann. Die Metallfasermatrix sorgt außerdem für eine ausgezeichnete Feuerfestigkeit. Obwohl strukturelle faserverstärkte Betone schon

seit einiger Zeit hergestellt werden, wurden sie erst vor kurzem in Berechnungsnormen berücksichtigt, und in Italien müssen sie vor ihrer Verwendung ministeriell genehmigt werden: ein komplexes und langwieriges Verfahren, bei dem Hinfrac im Bereich des Transportbetons eine Vorreiterrolle spielt. Die gewonnenen Erfahrungen werden auch von Nutzen sein, um ähnliche Genehmigungen für die Produktpalette von Unical zu erlangen.

Gleichzeitig mit den Phasen der Feinabstimmung des Produkts begannen wir die Suche nach einer ersten Anwendung mit einer Reihe von Vorführungen in großem Maßstab in unserem Bereich: Es wurden Planer und

Techniker von Bauunternehmen und Verwalter des italienischen Autobahnnetzes, das voller dringend sanierungsbedürftiger Tunnel ist, eingeladen.

Die Kontakte mit dem Konzern Autostrade per l'Italia für die Sanierung von drei Tunneln auf der italienischen Hauptautobahn A1 in Barberino del Mugello in der Nähe von Florenz waren erfolgreich.

Bei dieser Gelegenheit wurde beschlossen, mit einer „hybriden“ Methode unter Verwendung von Hinfrac-Beton zu experimentieren, jedoch mit einer herkömmlichen Schalung anstelle der extrudierten Schalung unseres ETLR-Systems (Extruded Tunnel Lining Regeneration). In diesem Fall wird nur ein



5



6

5. PROVE SU COMPONENTI IN SCALA REALE NEL LABORATORIO JRC DI ISPRA  
PRÜFUNG VON KOMPONENTEN IM MASSSTAB 1:1 IM JRC-LABOR IN ISPRA

6. MISURAZIONE SPERIMENTALE DELLA SPINTA SUI CASSERI  
EXPERIMENTELLE MESSUNG DES DRUCKS AUF DIE SCHALUNGEN



7

kleiner Teil des bestehenden Gewölbes mit traditionellen Methoden abgerissen und dann ein neues Gewölbe gebaut, welche die erforderliche strukturelle Leistung und Haltbarkeit garantiert.

Die Verwendung von faserverstärktem Beton und der Verzicht auf die herkömmliche Bewehrung erforderten eine grundlegende Änderung des Planungsansatzes mit Berechnungskriterien und strukturellen Überprüfungen, die von den neuen Eurocodes gefordert, aber noch wenig angewandt wurden. Hinfrü unterstützte den Konstrukteur durch die Zusammenarbeit mit den Polytechniken von Turin und Mailand, welche die Konstruktionslösungen überprüften und ihre Genehmigung durch das Ministerium für Infrastruktur, den Endkunden der Arbeiten, erleichterten. Gleichzeitig wurden die Phasen der Feinabstimmung der Betonmischung, des Einbaus und der experimentellen Tests zur Überprüfung der Leistung im ausgehärteten Zustand fortgesetzt.

Als weitere wissenschaftliche Unterstützung wurden Tests an Tunnelringen durchgeführt, die wir im Labor der Gemeinsamen Forschungsstelle (dem Forschungszentrum der Europäischen Kommission) hergestellt haben; die Ringe wurden durch Simulation verschie-

der Belastungsbedingungen bis hin zum Bruch getestet, um ihre Verformbarkeit zu überprüfen. Die Tests bestätigten nicht nur die Leistungsfähigkeit des Materials, sondern auch die Annahmen in den Berechnungen und numerischen Simulationen, die auf der Entwurfsebene durchgeführt wurden.

Die Tunnel befinden sich in der Nähe des Unical-Werks in Settimello, das wiederum im gleichnamigen Zementwerk angesiedelt ist: Dies hat die Logistik der Lieferung erheblich vereinfacht, da die Produktion dem bestehenden Werk anvertraut wurde und wir auf die Qualitätsstandards unseres Unternehmens, unser Betriebslabor und unsere bereits qualifizierten Förderanlagen zählen konnten. Wir konzentrierten uns anschließend auf die eher baustellenspezifischen Fragen, indem wir mit experimentellen Tests die Stöße auf die Schalung und die Pumpmethoden, die Einrichtung von Fahrzeugwaschplätzen, die Materialqualifikation und die Abnahmeverfahren sowie die Aufklärung aller Mitwirkenden über den Umgang mit Beton bewerteten.

Hinfrü übernahm nämlich die Aufgabe, in kürzester Zeit das Entfernen der Schalung zu genehmigen, um die Bauzeit zu beschleunigen. Verglichen mit dem üblichen Gießen von Ort-beton in das Gewölbe (sechs Meter lang) alle

vier Tage, führen wir jetzt einen oder zwei Güsse pro Tag durch, was die Bauzeit auf weniger als ein Viertel reduziert! Und auf den nächsten Baustellen planen wir, diese Zeiten durch den Einsatz unserer innovativen Schalung noch weiter zu halbieren.

Überraschenderweise, aber dann doch nicht allzu überraschend, war der einfachste Punkt die geschäftliche Verhandlung: Mit einer vernünftigen Argumentation des geforderten Preises konnten wir problemlos dafür sorgen, dass er akzeptiert wurde vor allem durch den großen Nutzen unserer Lösung für den Kunden.

Der Schlüssel zum Erfolg liegt in der Kombination mehrerer Faktoren: eine innovative Idee, der Enthusiasmus der Kolleginnen und Kollegen, die Flexibilität eines Start-ups und die Unterstützung durch ein großes, strukturiertes Unternehmen, welches das Wissen, die Ausrüstung, die Kontakte und den Ruf bietet, um die Solidität und Zuverlässigkeit bei der Umsetzung der Idee auf industrieller Ebene zu gewährleisten.

7. LA NOSTRA PRIMA GALLERIA IN CORSO DI REALIZZAZIONE  
UNSER ERSTER TUNNEL IN DER BAUPHASE