

Tünellerde Beton Yol: Sürdürülebilir Seçim*

Giuseppe Marchese ⁽¹⁾

Çeviren: İnş.Yük.Müh. Yasin Engin

Özet

İtalya, Avrupa Birliği içinde en fazla karayolu tüneline sahip ülkedir. Dünya çapında ise sadece Japonya'da İtalya'dan daha fazla tünel vardır. Mevcut durumda Trans Avrupa Karayolu Ağı (TERN) İtalya topraklarından geçen toplam uzunluğu 600 km olan tünelleri içermektedir. Bu tünellerin sadece %10'u güvenli Avrupa standartları (2004/54/CE) ile doğrudan uyumlu yapılmıştır.

Beton, yapı performansı güvenliğini iyileştirme kapasitesinden dolayı tüneller için gerçek bir çözümdür. Ayrıca, beton sürdürülebilir tünel projelerinde çevre, toplum ve ekonomi hususlarında kendini sürekli kanıtlamaktadır.

İtalya'daki "Quadrilatero Marche Umbria" projesi betonun tünel projelerine uygunluğunu gösteren güzel bir örnektir. 40 km uzunluğundaki Maxilotto 1 tünelleri beton yol kullanılarak inşa edilmiştir. Donatısız derzli beton yol bu proje için en uygun seçenek olarak değerlendirilmiştir. Derzler, betonun servis ömrü boyunca maruz kalacağı gerilmeleri azaltmaktadır ve bu sayede beton yolun ömrü de uzamaktadır. Enine ve boyuna derzleri kenetleyen donatılar ise çatlakların yerini ve şiddetini kontrol etmektedir.

Tünel yol kaplamasında betonun kullanılmasıyla "Quadrilatero" projesinde tüm altyapı çalışmalarının değerlendirmesine yönelik önemli unsurlar sağlanmıştır. Bu makalede tünellerde inşa edilen beton yolların ekonomik faydalarına değinilecektir.

1. Giriş

İtalya'da yol inşaatı kültürü eski çağlara kadar gitmektedir. Romalılar, alt tabaka olarak kırılmış kayalardan oluşan derin temeller kullanarak büyük yollar inşa etmiştir. Bu sayede kili zeminde çamur oluşması yerine suyun temeldeki kırılmış taşların arasından akıp uzaklaşması sağlanmıştır.

Concrete Pavements in Tunnels: The Sustainable Choice

Italy has the greatest number of tunnels in the EU; worldwide, only Japan has more. Currently the Trans-European Road Network (TERN) counts more than 600 km of tunnels throughout Italy and 10% of those are strictly aligned with the safety European standards (2004/54/CE).

Concrete is considered the genuine solution for tunnels, regarding its capability to improve safety structural performances. Moreover, concrete is continually proving itself as the best answer to the economic, social and environmental sustainability of tunnels projects.

İtalya yüzyıllar boyunca yol yapımında derin bir tecrübe kazanmıştır. İtalyan Yarımadası boyunca yer alan sıradağlar nedeniyle tasarım ve yapım profesyonelleri tünel yapımı konusunda bilgi ve deneyimlerini arttırmıştır. Bu uzmanlığa rağmen birkaç yıl öncesine kadar beton yollar bir yöntem olarak hak ettiği yeri alamamıştır. Bu durumun, betonun diğer malzemelere göre ilk yapım maliyetinin fazla olması ve ilgili standart ve şartname eksiklikleri gibi nedenleri vardır.

* 17. ERMCO Kongresi'nde sunulmuştur.

¹⁾ Genel Müdür - Calcestruzzi S.p.A., İtalya

2000'li yılların başında gerçekleşen bazı tünel yangınları yol kazalarının yıkıcı etkilerini göstermiştir. Gotthard Tüneli (İsviçre), Tauern Tüneli (Avusturya) ve Mont Blanc Tüneli (Fransa/İtalya) yangınları insan hayatı, çevre ve ekonomik etki açısından trajik sonuçlar ortaya çıkarmıştır. O zamandan beri tünel tasarımı çoğunlukla bir «acil durum tasarımı» haline gelmiştir.

Tünel yangınları, yüksek güvenliği ve güvenilir trafik durumunu sağlayacak uygun malzeme seçimine ihtiyacı açıkça göstermiştir. Yangın esnasında beton gibi yanmayan ve toksik gazlar açığa çıkarmayan bir yol kaplaması malzemesi, insan (hem araç kullanıcıları hem de kurtarma ekibi) güvenliğine katkıda bulunmakta ve tünel yapısını ve ekipmanını korumaktadır. Bu nedenle, tüneller için beton yol çözümüne olan yeni ilgi İtalya'da son yıllarda giderek artmaktadır.

Bu tutum değişikliğinin bir başka nedeni de Direktif 2004/54/EC'nin, Trans Avrupa Karayolu Ağı üzerindeki sürücüler için güvenliği en yüksek seviyede sağlanmasını amaçlamasıdır. Direktif insan hayatı, çevre ve tünel teçhizatlarını tehlikeye atabilecek kritik durumların önlenmesi ve kaza durumunda yapılması gerekenler hakkında talimatlar içermektedir. Trans Avrupa Karayolu Ağı üzerindeki her tünel 500 m'den fazla uzunluktadır. Bu tünellerin toplam 600 km'lik kısmı İtalya topraklarında bulunmaktadır ve sadece %10'u güvenli Avrupa standartları (2004/54/CE) ile doğrudan uyumlu yapılmıştır. Bu nedenle İtalyan hükümeti 500 km'den fazla tünel yolunu yenilemelidir.

2. Tünellerde Beton Yolun Sürdürülebilirliği

2.1 Toplumsal etki

Kaplama malzemesi olarak betonun tercih edilmesi tünel yollarının güvenliğini ve konforunu iyileştirmektedir. Beton yanmazdır (Şekil 1), açığa duman çıkarmaz, yüksek sıcaklıkta ciddi anlamda şekil değiştirmez ve mekanik performansını önemli miktarda koruyabilmektedir. Buna ek olarak, parçalanma (spalling) beton yolda çok nadir görülmektedir. Tüm bu özellikler hem araç sürücüleri hem de yangın durumunda kurtarma ekipleri için güvenliği artırıcı rol oynar [4, 5, 6].



Şekil 1: 750 °C sıcaklıkta asfalt (solda) ve beton (sağda) performansının karşılaştırılması [3]

The "Quadrilatero Marche Umbria" project in central Italy has provided a very good example of concrete adapting Italian road tunnels to the European standards. The tunnels of Maxilotto 1 (SS 77 "della Val di Chienti"), 40 km long in total, have been built using concrete pavements. Unreinforced Jointed Concrete has been considered the most suitable choice for this work using unreinforced concrete slabs, separated by transversal and longitudinal reinforced joints. Joints reduce the stresses the concrete will experience during its life and greatly increase the concrete pavement's lifetime. Through the presence of reinforcement, the location and spacing of cracks can also be controlled. By using concrete for road tunnel pavements, the "Quadrilatero" project has provided important elements for the correct assessment of the whole infrastructural work. Considering the early cash flow assigned to the work, the real cost of the project plan has been massively rewarded. This paper focuses on the economic benefit of concrete for road tunnel paving.

Beton yol tüm hizmet ömrü boyunca seyahat konforu açısından istikrarlı bir performans sağlar. Dayanıklılığı sayesinde düşük bakım gereksinimi diğer avantajlarından birisidir. Bu avantaj ayrıca daha az trafik aksaması ve daha az kaza riski de demektir. Yüzeyinin açık renkli olması sürüş konforunu iyileştirmesinin yanında kaza riskini de azaltır. Ayrıca, beton üretimi yerel bir iş koludur. Ekonomik büyümeye ve bölgesel refaha katkıda bulunur.

2.2 Ekonomik etki

Düşük yakıt tüketimi, yüksek yüzey yansıtılabilirliği sonucu düşük aydınlatma ihtiyacı ve sınırlı bakım gereksinimi betonu rekabetçi ve tercih edilebilir bir malzeme yapmaktadır. Bakım maliyetleri hesaba katıldığında beton yolun toplam maliyeti diğer malzemelere göre daha düşüktür. Beton yolun diğer yapı malzemelerine oranla ilk yapım maliyetindeki artı maliyet 10 yıl sonunda kendini amorti etmektedir. 30 yıl sonra ise daha az bakım ihtiyacı sonucu beton yol çok daha ekonomik olmaktadır. Bir diğer ekonomik fayda da yangın sonucu yapıdaki hasarın daha az olmasıdır.

liyet 10 yıl sonunda kendini amorti etmektedir. 30 yıl sonra ise daha az bakım ihtiyacı sonucu beton yol çok daha ekonomik olmaktadır. Bir diğer ekonomik fayda da yangın sonucu yapıdaki hasarın daha az olmasıdır.

2.3 Çevresel etki

Beton, çevresel etkisi düşük seviyede olan bir malzemedir. Betonun dürabilite performansı, yüzeyin daha stabil yani dış etkiler sonucu daha az bozulan bir özellikte olmasını sağlamaktadır. Bu sayede kavrama performansı yolun tüm servis ömrü boyunca daha az yakıt tüketimine ve daha az trafik kirliliğe neden olmasını sağ-

lar. Aynı şekilde, bakım faaliyetleri nedeniyle gerçekleşen düşük trafik sapmaları emisyon değerlerinin aşağı yönlü olmasını sağlar.

Yakıt ve yağ sızıntıları betona zarar vermez ve kolayca beton yüzeyinde drenaj edilir.

Beton yüzeyin açık renkli olması ve ışığı yansıtması aydınlatma için daha az enerjinin harcanmasına neden olur. Ayrıca, beton içeriğinde geri dönüşümlü malzeme kullanılabilmesi betonun sürdürülebilirliğini arttırmaktadır. Beton yol hizmet ömrü bittikten sonra tamamen geri dönüşüm agregası olarak kullanılabilir.

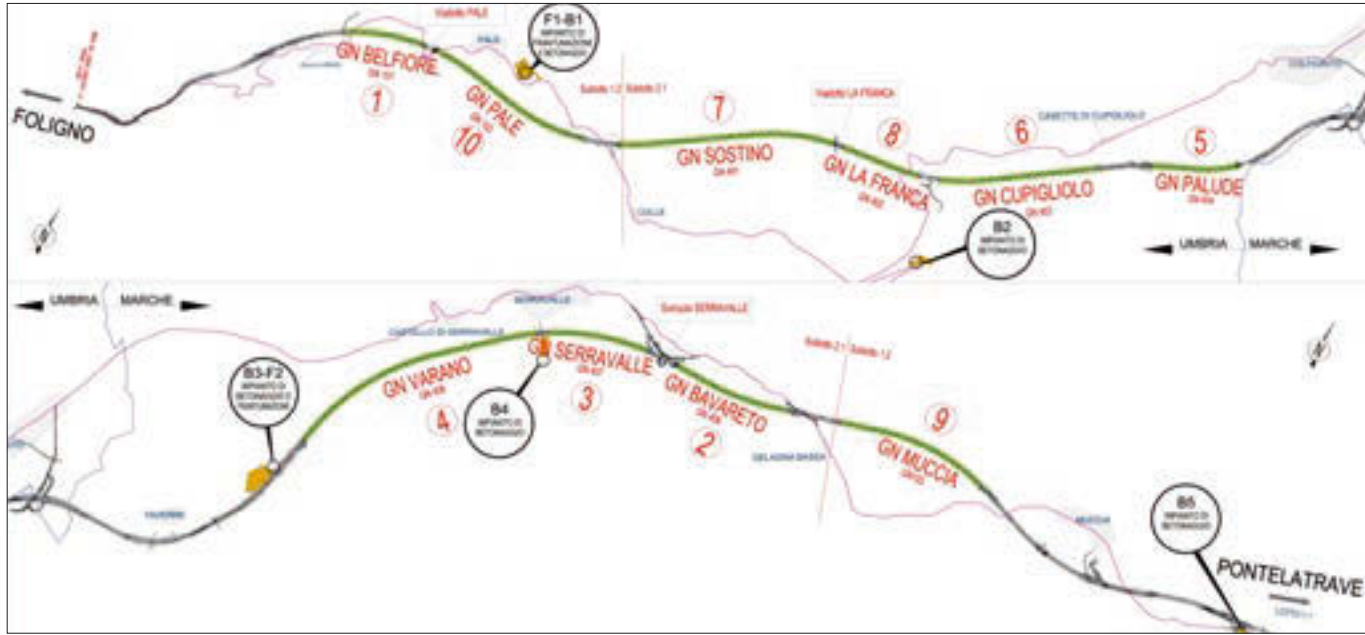
3. Bir Örnek: Quadrilatero Marche Umbria Projesi

Quadrilatero Marche Umbria Projesi İtalya'nın farklı bölgelerini (Marche ve Umbria) birleştirdiği için İtalyan karayolu ağı içinde kilit bir role sahiptir. Proje Maxilotto 1 ve

Maxilotto 2 olmak üzere iki faza ayrılmıştır. 1100 milyon € yatırım bedeli olan Maxilotto 1 (Şekil 2); 18 viyadük, 14 doğal tünel ve 12 yapay tünel içeren 35 km uzunluğunda 4 şeritli bir yoldur. Bu fazın 2 milyar €'ya mal olması beklenmektedir.

Sözleşmenin % 96'sı mevcut durumda (Mayıs 2015) tamamlanmıştır. 16 Ocak 2015 tarihinde Colfiorito (PG) ve Serravalle di Chienti (MC) arasındaki 9 km'lik yol trafiğe açılmıştır. Projenin 2015 yılı sonunda tamamlanması beklenmektedir.

Maxilotto 1 fazındaki tünellerin yol kaplaması betondur. Bu durum ana yüklenici tarafından teknik bir ilerleme olarak tanıtılmıştır. Beton yol tercihi daha önce bahsedilen betonun sürdürülebilirlik performansı nedeniyle proje sahibi tarafından onaylanmıştır. Toplam 14 tünelin 10 adedinde (her biri 1 km'den fazla çift tüplü tüneller) beton yol inşa edilmiştir. Her tüpün içindeki çift şeritli 20 km otoyolun toplam yüzey alanı 300.000 m²'dir.



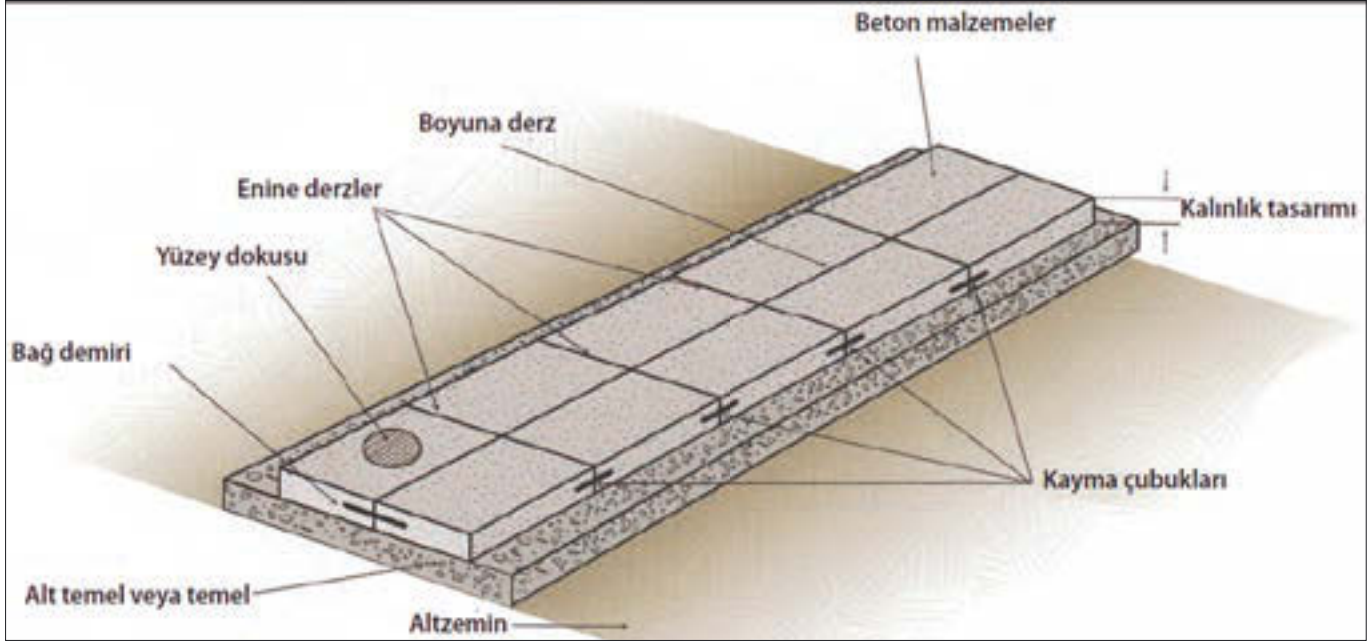
Şekil 2: Quadrilatero Marche Umbria - Maxilotto 1

3.1 Tünellerde beton yol tasarımı

Ağır trafik yüküne maruz kalan beton yolların tasarımında Alman RStO-2001 kataloğu kullanılmıştır. İlgili standartlara uygun olarak yol servis ömrü 30 yıl olarak belirlenmiştir.

Gerçekte, Maxilotto 1 fazındaki beton yolların servis ömrünün 40 yıldan fazla olması beklenmektedir.

Donatısız derzli beton yol türü (Şekil 3) birçok teknik çözüm arasından seçilmiştir. Donatısız derzli beton yol donatı içermemekte, ancak rötne (büzülme) çatlaklarını kontrol etmek amacıyla enine ve boyuna derzler içermektedir. Bu derzlerde bağ ve kayma donatıları bulunmaktadır.



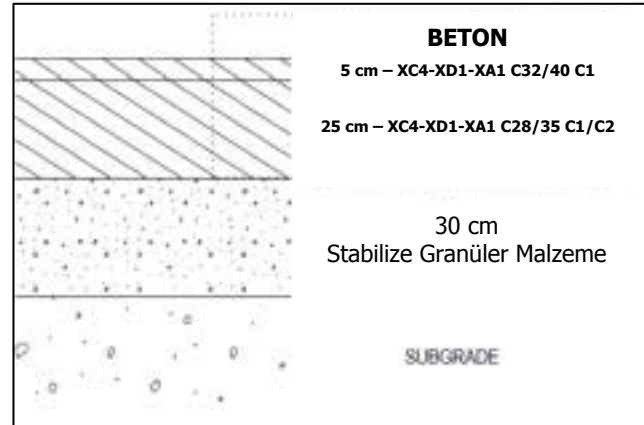
Şekil 3: Donatısız derzli beton yol

Quadrilatero tünellerindeki kaplamanın toplam kalınlığı 60 cm'dir. Kaplama, alt temel üzerinde 30 cm kalınlığında stabilize granüler malzemeden ve 25 cm alt, 5 cm üst tabakadan oluşun çift katmanlı beton kaplamadan oluşmaktadır (Şekil 4).

Farklı derz türleri kaplama dayanıklılığını iyileştirmek için çatlakları kontrol etmektedir. Enine ve boyuna büzülme derzleri çatlak oluşumunu ve lokasyonunu kontrol etmektedir. Yol şeridi kenarlarındaki yalıtım derzleri ise beton kaplamanın dış kaynaklı zorlamalardan bağımsız hareket etmesini sağlamaktadır.

Boyuna derzler yolun merkezinde bulunmaktadır ve 20 mm çaplı bağlantı demirleri ile kenetlenmiştir. Enine derzler ise 5.5 metre aralıklarla yapılmıştır. Enine derzlerde özellikle yüksek gerilmeye maruz kalacak bölgelerde 25 cm aralıklarla kayma donatısı yerleştirilmiştir. Diğer yerlerde bu aralık 50 cm'dir.

Çift katmanlı beton yol kayar kalıp ile serilmiştir. Üst katmanın betonu alttaki katmanın betonu yerleştirildikten hemen sonra yerleştirilmiştir. Burada "wet-on-wet" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile iki katmanın ideal olarak kaynaşması sağlanmıştır. Günlük ortalama üretim 300m/gün ve maksimum üretim 500 m/gün olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4: Yol en kesiti

İlk kayar kalıp 25 cm kalınlığındaki alt katman için kullanılmıştır. Serilen alt katmana kayar kalıp tarafından kayma donatıları yerleştirilirken bir yandan da bu katman dâhili vibratörlerle sıkıştırılmıştır. Üst katman ise ikinci serici ile yerleştirilmiş ve sıkıştırılmıştır. Daha sonra istenilen yüzeyi elde etmek için manuel olarak yüzey bitirme işlemi yapılmıştır. Hızlı buharlaşma ve çatlak oluşumunu engellemek için beton yüzeyine özel kür malzemesi ile uygulama yapılmıştır.

3.2 Beton ve diğer malzemeler

Quadrilatero tünelinin yolları için hazır beton, Atecap (İtalya Hazır Beton Birliği) üyesi Calcestruzzi S.p.A., Colabeton S.p.A. ve Luigi Metelli S.p.A. tarafından oluşan bir konsorsiyum tarafından üretilmiştir. Firmalar 5 cm kalınlığındaki üst katman için C32/40, 25 cm kalınlığındaki alt katman için C28/35 sınıfı beton üretmişlerdir.

İki farklı beton karışımı için iki tür agrega kullanılmıştır. Üst katmanda yüksek aşınma direncine sahip bazalt agregası kullanılmıştır. Bu sayede yüzeyin daha sağlam olması ve yolun kavrama performansının artması amaçlanmıştır. Alt katmanda ise standartlara uygun kireç taşı (kalker) agregası kullanılmıştır.

Uygulama yöntemi, su/çimento oranı düşük ve katı kıvam- lı karaktere sahip sıfır çökme (no-slump) beton gerektirmekteydi. Çekme dayanımı gibi kaplama performansına yönelik istenilen şartları yerine getirecek özel beton karışımı hazırlanmıştır.

CEM I tipi çimento, yol kaplaması için en uygun malzeme olarak tespit edilmiştir; ancak CEM II/B-S 42,5 veya 52,5 tipi çimentonun da uygun olabileceğine karar verilmiştir. Çimentonun düşük standart sapmalı, ideal dayanım gelişimine sahip ve blaine (incelik) değerinin 4000 cm²/g'dan yüksek olması gerekmektedir.

Beton kıvamı, uygulama aşamasındaki performans açısından yol kaplaması için önemli bir özelliktir. En düşük C2 sınıfı sıkıştırılabilir derecesine ihtiyaç duyulmaktadır. Orta oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı kullanılarak Tablo 1'de belirtilen performansa ulaşılmıştır.

Tablo 1: Quadrilatero tünelleri için beton

Beton Özellikleri	Alt Katman	Üst Katman
Dayanım sınıfı	C28/35	C32/40
Kıvam sınıfı	C1	C1 and C2
Su/çimento oranı	≤ 0,41	≤ 0,45
Çevresel etki sınıfı	XC4-XD1-XA1	XC4-XD1-XA1
Çimento tipi	CEM I 42,5 N	CEM I 42,5 N
Agregalar	Kireç taşı (D _{max} = 25 mm)	Bazalt
Süper akışkanlaştırıcı	1,14 l/m ³	1,24 l/m ³
Hava sürükleyici katkı	0,22 l/m ³	0,10 l/m ³

4. Sonuç

İtalya'da beton yol yapımı güçlü bir geçmişe sahip değildir ve diğer malzemelere kıyasla arzu edilen bir seviyeye gelmemiştir.

İtalyan hazır beton endüstrisi özellikle tünellerde yüksek seviyede güvenlik ve sürdürülebilirliğin sağlanması için beton yolların en uygun seçenek olduğunu göstermek için ciddi gayret harcayarak yatırımlar yapmaktadır.

"Quadrilatero" deneyimi beton üreticileri için önemli bir başarı göstergesidir. Bu proje İtalya'nın bugüne kadarki en önemli kamu yatırımlarından birisidir ve medyada çok geniş yer almıştır. Bu nedenle beton endüstrisinin beton yolların toplum, ekonomi ve çevre açısından en iyi seçenek olduğu mesajını verecek ikna edici bir örnektir.



Şekil 5: Maxilotto 1'deki tünellerden birindeki beton yol

KAYNAKLAR

- [1] "Directive 2004/54/CE on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network", European Parliament and Council of the European Union, Official Journal of the European Union, 30 April 2004
- [2] "Pavimentazioni stradali in calcestruzzo. La scelta d'elezione per costruire un futuro sostenibile", Aitec (Italian Technical Economic Association for Cement), Rome, April 2009
- [3] "Characterization of asphalt exposed to high temperature: application to fire case of asphalt pavement", Noumoué A., Cergy Pontoise University, 2003
- [4] "Aumentare la sicurezza in galleria", Federbeton (Italian Federation for Cement and Reinforced Concrete), Roma, 2014
- [5] "Improving fire safety in tunnels: The concrete pavement solution", BIBM - Cembureau - ERMCO, Brussels, April 2004
- [6] "Contribution of concrete pavements to the safety of tunnels in case of fire", Eupave, Brussels, December 2010
- [7] "Rapporto 2015", Atecap (Italian Technical Economic Association for Ready-mixed Concrete), Roma, March 2015