



RADIOATTIVITA' E DURABILITA' DEI PAVIMENTI INDUSTRIALI IN CALCESTRUZZO POGGIANTI SU TERRENO

Mario Collepari, Silvia Collepari

Enco

collepari@encosrl.it, silvia.collepari@encosrl.it

Roberto Troli

Betonrossi

robertotroli@betonrossi.it

SOMMARIO

I pavimenti industriali in calcestruzzo sono esposti nell'estradosso alle aggressioni ambientali e nell'intradosso possono essere molto spesso esposti alla permeazione degli atomi (con dimensione nanometrica) del gas Radon invisibile, insapore e inodore attraverso le cavità della porosità capillare (con dimensione micrometrica) della pasta cementizia che avvolge gli aggregati. Quando i pavimenti si trovano all'interno di edifici industriali il Radon provoca un forte aumento di radioattività. Le persone che inalano grossi volumi di Radon sono esposte al grave rischio di sviluppare un tumore ai polmoni.

L'articolo illustra le ricerche svolte in questo ambito su pavimenti industriali in calcestruzzo situati all'interno di costruzioni chiuse o esposte all'atmosfera esterna e descrive i termini del problema con riferimento ai recenti sviluppi sperimentali e tecnologici atti ad ostacolare la risalita del Radon in fase di progettazione e le proposte di soluzione nelle fasi bonifica.

Per bloccare la risalita del Radon è necessario adagiare un manto di guaine in bitume basate su bitume rinforzato con strisce di alluminio aderente a fibre di vetro. La presenza della barriera al Radon in forma di guaine bituminose al di sotto

dei giunti di contrazione, di costruzione e di isolamento dei pavimenti industriali in calcestruzzo previene qualsiasi passaggio del Radon nell'ambiente dove si lavora. Il problema della radioattività sopra i pavimenti industriali all'aperto non esiste perché il gas Radon si disperde facilmente nell'atmosfera.

Per bonificare gli ambienti interni con elevata concentrazione di Radon sono possibili due tipi di intervento: aumentare il ricambio d'aria con l'esterno laddove questo intervento è possibile in quanto compatibile con l'attività svolta nell'edificio industriale oppure sigillare le vie di ingresso del Radon per bloccare la sua azione pericolosa: questo intervento è più radicale e consiste nell'eseguire sopra il pavimento in calcestruzzo esistente il trattamento per costruire ex-novo pavimenti industriali in calcestruzzo non radioattivi.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY AND DURABILITY OF CONCRETE INDUSTRIAL FLOORS

The concrete industrial floors are exposed to the environmental aggressive actions at the extrados and at the intrados can be very often exposed to the permeation of the Radon emanating from the ground. Radon is a tasteless, invisible and odorless gas and, due to the small dimension of its atoms (some nm) with respect of the capillary pores (some mm) of the cement paste, can penetrate the concrete and cause a large increase of the radioactivity in the inside environment of the industrial building. When people working in the industrial building inhale large amount of Radon are exposed to a very serious risk of developing a lung cancer.

The present paper illustrates the researches carried out in this subject on concrete industrial floors existing in closed buildings or exposed to the outside air and describes the terms of the problem with references to the recent experimental and technological developments in order to hamper the rising of the Radon during the design of the floor and the solutions to the environmental cleanup.

In order to avoid this risk an effective radon gas barrier (where a distilled bitumen-based compound modified with polypropylene is reinforced with an aluminum strip bonded to reinforced glass fibre) must be used. The presence of this gas barrier prevents the gas Radon from permeating through the contraction joints, the construction joints and the insulation joints of the concrete industrial floors and makes the working area very safe. The problem of the risk of gas Radon in concrete industrial floors exposed to outside air does not exist because the gas Radon is easily dispersed into the atmosphere. In order to reclaim a closed building with a high Radon content there are two possible initiatives: to increase the change of air with the outside environment when this intervention is compatible with the working activity of the industrial building; to seal the entrances to the gas Radon in order to block its dangerous action to the persons: this intervention is much more radical and effective and it consists in the same type of working carried out to make safe and Radon-free the original concrete industrial floors.

PAROLE CHIAVE | KEywords

pavimenti industriali in calcestruzzo; radioattività degli ambienti interni; guaine in bitume come barriera alla risalita del Radon dal terreno.

concrete industrial floors, radioactivity of inside building, bitumen-based industrial products acting as barrier against the gas Radon coming from ground.

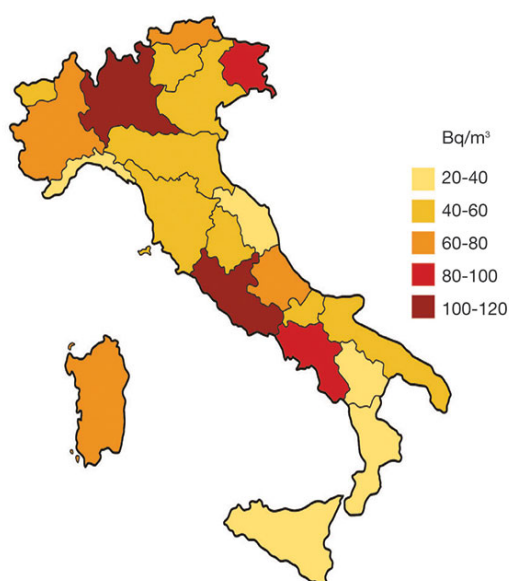
INTRODUZIONE

I pavimenti industriali in calcestruzzo rappresentano una singolare costruzione in quanto nell'intradosso sono esposti alla permeazione dal gas Radon proveniente dal terreno e nell'estradosso all'azione aggressiva dell'ambiente atmosferico. Nel presente articolo sono esaminate le condizioni dei pavimenti industriali in calcestruzzo situati all'interno di costruzioni chiuse o esposte all'atmosfera esterna.

RADIOATTIVITA' E DURABILITA' DEI PAVIMENTI INDUSTRIALI IN AMBIENTI CHIUSI

La radioattività dei pavimenti industriali è causata dalla permeazione del Radon che risale dai terreni sottostanti i pavimenti. Il Radon è un gas invisibile, incolore ed insapore che attraversa il terreno e si diffonde nell'atmosfera. Le persone che inalano grossi volumi di Radon sono esposte al grave rischio di sviluppare un tumore ai polmoni [1-3]. Il fumo di sigarette è la causa più comune di tumore ai polmoni. Il Radon, pur rappresentando un rischio meno grave del fumo delle sigarette, è il secondo fattore di rischio per assumere un cancro ai polmoni. Gli scienziati stimano che negli Stati Uniti da 15.000 a 22.000 persone muoiono ogni anno per il cancro provocato dal Radon. Anche in Europa il problema del cancro ai polmoni provocato dall'inalazione del Radon è molto frequente. In Italia l'Istituto Superiore di Sanità ha stimato che, dei 31 mila casi di tumore ai polmoni che si registrano ogni anno, il 10% circa è attribuibile al Radon (questo dato comprende per la maggior parte fumatori, a causa della sinergia tra Radon e fumo che ne moltiplica gli effetti). La concentrazione di Radon nell'aria è espressa in Becquerel (Bq) per m^3 dove il Bq indica il numero di decadimenti di Radon che avvengono in 1 secondo: per esempio, una concentrazione di $100 \text{ Bq}/m^3$ indica che in $1 m^3$ di aria ogni secondo 100 atomi di Radon decadono emettendo radiazioni trasformandosi in piombo, bismuto e polonio che sono nocivi.

La figura 1 mostra la concentrazione media in Bq/m^3 nelle diverse regioni italiane: le regioni più esposte all'emanazione di Radon sono la Lombardia e il Lazio con una concentrazione di Radon nell'aria pari a $100\text{-}120 \text{ Bq}/m^3$.



1. Concentrazione in aria del Radon nelle diverse regioni italiane: fonte Istituto Superiore di Sanità.

Il Radon si muove attraverso un terreno costituito da terra e ghiaia che circonda le fondazioni di una costruzione e quindi penetra attraverso i pori e le fessure del calcestruzzo. Come tutti i gas, il Radon è sospinto attraverso la diffusione e si diffonde per la differenza di concentrazione tra quella del gas nel terreno dove la concentrazione può eccedere 37.000 Bq/m^3 e quella del gas nell'atmosfera dove la radioattività non supera 40 Bq/m^3 .

Esiste un'altra causa nella risalita del Radon, basata sulla differenza di pressione - nota come avvezione - ma rappresenta solo il 20% del flusso del gas. Il Radon penetra facilmente anche il calcestruzzo perché i pori capillari della pasta di cemento, che avvolge gli aggregati, costituiscono il 12-18% del volume del calcestruzzo e presentano un diametro compreso tra 5 e 10 mm, quindi enormemente maggiore della dimensione degli atomi di Radon di circa qualche ångström.

In una data area specifica, destinata ad una costruzione, l'emanazione del Radon può cambiare in modo erratico da un giorno all'altro o da una stagione all'altra. Pertanto, se in una data area, si accerta l'assenza di radioattività provocata dal Radon, questa determinazione non comporta per sempre la sicurezza delle persone che dovranno lavorare o vivere in una costruzione che deve essere eretta sopra questa area. Il problema della **sicurezza** si pone in costruzioni dove il lavoro è svolto nel piano a contatto del terreno, come i capannoni industriali. Pertanto, tutte le fondazioni in calcestruzzo sulle quali poggiano i pavimenti industriali in calcestruzzo debbono comportarsi come un'efficace barriera contro la risalita del Radon. Il problema della **sicurezza** dai rischi del Radon riguarda solo i pavimenti presenti nelle costruzioni chiuse come quelle sopra menzionate, ma non i pavimenti industriali all'aperto dove il Radon si disperde nell'atmosfera senza mai raggiungere valori di concentrazioni pericolosi per la **sicurezza** della salute delle persone che vi lavorano.

Anche i pavimenti di edifici non industriali (come i supermercati, i piani terra di negozi, ristoranti, scuole alberghi, ville, ecc.) che poggiano sul terreno e che sono costruiti con un massetto di malta o calcestruzzo ordinario gettati sulle fondazioni e ricoperti con piastrelle ceramiche, mattoni, linoleum o listelli in legno, ecc., sono esposti alla radioattività provocata dalla penetrazione del Radon. Pertanto, anche questi pavimenti debbono essere protetti con una barriera al gas Radon posta tra la fondazione ed il massetto cementizio.

In Italia il DL 101/2020 pone come limite per le costruzioni esistenti il valore critico di 300 Bq/m^3 da non superare se un edificio chiuso deve rimanere sicuro dal punto di vista salutare. Per le nuove costruzioni si richiederà un limite di 200 Bq/m^3 a partire dal 31/12/2024. Inoltre, la concentrazione media annua di Radon sale a 300 Bq/m^3 per i luoghi di lavoro [4]. L'OMS raccomanda di non superare il valore medio di 100 Bq/m^3 nelle abitazioni, ma se questo non è possibile occorre assolutamente rimanere al di sotto di 300 Bq/m^3 [4].

LA SPERIMENTAZIONE E LA RICERCA

Gli obiettivi della ricerca su questo aspetto del problema sono:

- verificare se il tipo di calcestruzzo impiegato nella fondazione o nel pavimento può ridurre la permeazione del Radon;
- esaminare il comportamento di barriere industriali capaci di bloccare la risalita del Radon dal terreno.

Sono stati esposti all'emanazione del Radon proveniente da un terreno tre calcestruzzi, privi di qualsiasi trattamento protettivo, la cui composizione è riportata nella Tabella 1: un calcestruzzo denominato **APC** (Alta Porosità Capillare) con un rapporto a/c di 0,60; un calcestruzzo denominato **BPC** (Bassa Porosità Capillare) con un rapporto a/c molto più basso (0,4); un calcestruzzo denominato **BPC-SF** con un basso rapporto a/c (0,40) e privo di fessure per la presenza di un agente espansivo la cui azione è contrastata da una rete metallica.

Tabella 1. Composizione di tre calcestruzzi esposti alla emanazione del Radon.

Tipo di calcestruzzo	APC	BPC	BPC-SF
CEM II/A-LL 42.5 R in kg/m ³	340	360	350
Acqua in kg/m ³	200	145	140
Sabbia (0-5 mm/0-2) in kg/m ³	940	945	910
Ghiaietto (5-10 mm) in kg/m ³	420	450	445
Ghiaia (10-25 mm) in kg/m ³	550	600	595
Superfluidificante* in kg/m ³	-	3,0	3,0
SRA** in kg/m ³		-	4,0
Agente espansivo*** in kg/m ³		-	35
Rapporto acqua/cemento	0,60	0,40	0,40
* Poli-carbossilato al 30% in acqua ** Additivo riduttore di ritiro a base di glicole etilenico *** Agente espansivo a base di CaO Cotto a 1.000 °C			

I tre calcestruzzi in forma di lastre quadrate (40x40x10 cm) sono state armate con una rete metallica posta in mezzera. Le superfici laterali delle lastre (spessore di 10 cm) sono state protette da resina epossidica e dopo 1 giorno sono state incassate in un terreno all'aperto da cui emanava il gas Radon. Sulle tre lastre è stato appoggiato un dosimetro per determinare la concentrazione di Radon coprendo infine il dosimetro con un bicchiere di vetro rovesciato e sigillato alla lastra in calcestruzzo per evitare la dispersione della radioattività nell'atmosfera.

La figura 2 mostra le concentrazioni cumulative di Radon in funzione del tempo per le tre lastre di calcestruzzo mostrate in Tabella 1. Si può osservare che non esiste alcuna significativa differenza nel comportamento dei tre calcestruzzi esposti per circa 1 mese alla emanazione del Radon dal terreno, nonostante la loro differente porosità interna dovuta alla porosità capillare ed alla presenza o meno di fessure. Questo risultato dimostra che non si può bloccare la radioattività contando sulla qualità del calcestruzzo impiegato nelle fondazioni e/o nel pavimento industriale.

La figura 3 mostra i risultati di una ricerca basata sull'impiego di una barriera costituita da una miscela di bitume distillato modificato con polipropilene, rinforzato da alluminio e una miscela di fibre in vetro [5]. Andamenti analoghi a quelli mostrati nella figura 3 sono stati registrati [5] impiegando altri due calcestruzzi ad alta (HCP) o bassa porosità capillare (LCP). Questi risultati indicano che per erigere una costruzione direttamente su un terreno occorre:

a) impiegare una barriera alla permeazione del Radon applicando in modo continuo una serie di guaine bituminose sulla fondazione cementizia, se esistente, o su uno strato di magrone realizzato sulla massicciata;

b) adagiare fogli di tessuto non-tessuto o di polietilene per evitare che le successive operazioni (posa dei casseri, delle reti metalliche con diametro dei fili pari a 6-8 mm e maglia di 15-20 cm e soprattutto il getto del calcestruzzo per il pavimento industriale) possano danneggiare le guaine bituminose peggiorandone localmente la prestazione di barriera anti-Radon;

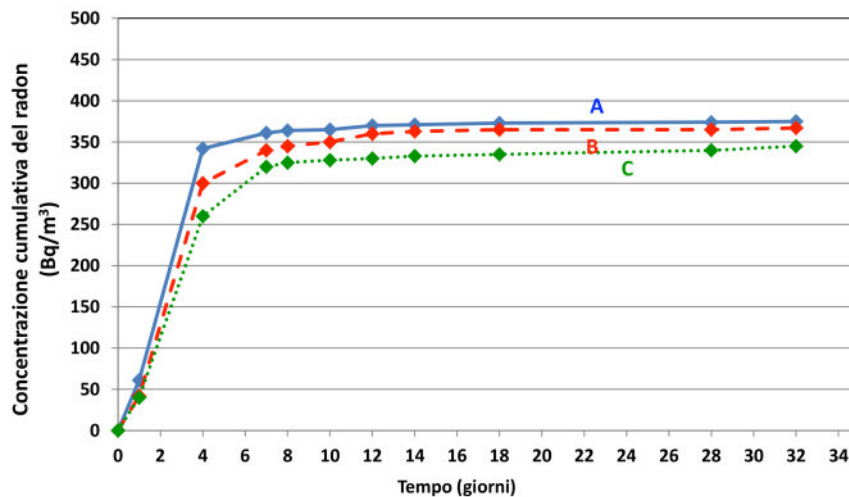
c) procedere quindi alla stesura e staggiatura del calcestruzzo fresco del pavimento ed applicare lo "spolvero" (basato su cemento e quarzo finemente macinato) sul pavimento non appena ha inizio la presa del calcestruzzo in ragione di 2-4 kg/m² e procedere alla successiva frattazzatura meccanica;

d) eseguire, infine, sul pavimento i giunti di contrazione; la presenza della barriera al Radon in forma di guaina bituminosa al di sotto di questi giunti previene qualsiasi passaggio del Radon nell'ambiente a piano terra dove si lavora o si vive, così come in corrispondenza dei giunti di costruzione e dei giunti di isolamento perimetrale predisposti prima di eseguire il getto;

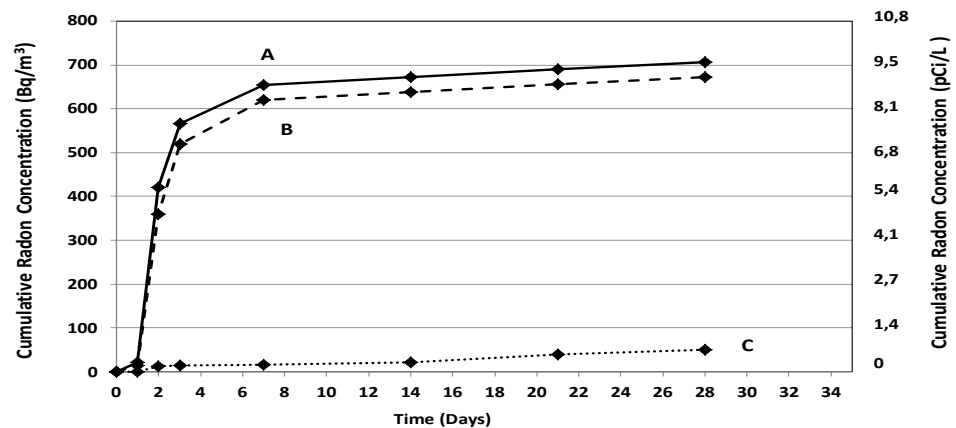
e) risvoltare la guaina bituminosa lungo le pareti e i pilastri che attraversano la pavimentazione venendo incollata "a fiamma" come se si stesse realizzando un'impermeabilizzazione; prima di gettare il calcestruzzo occorre applicare sul risvolto verticale della guaina una fascetta adesiva in polietilene espanso del tipo utilizzato per realizzare i giunti di isolamento; la fascetta servirà a proteggere la guaina bituminosa dalla lavorazione del pavimento.

Nei pavimenti presenti all'interno di edifici l'ambiente coincide con la classe di esposizione XC3 [6] per la presenza di aria umida ma in assenza di pioggia. Per assicurare una durabilità di almeno 50 anni secondo la Tabella 2 occorre:

- adottare un rapporto a/c non superiore a 0,55;
- scegliere una R_{ck} di almeno 37 MPa se si impiega un cemento con classe di resistenza 32.5;
- adottare un copriferro minimo di 25 mm che deve essere aumentato a 35 mm se si richiede una durabilità superiore a 100 anni.



2. Concentrazione cumulativa di Radon in funzione del tempo per i calcestruzzi mostrati in Tabella 1 non protetti: A)→calcestruzzo APC; B)→calcestruzzo BPC; C)→calcestruzzo BPC-SF.



3. Concentrazione cumulativa di Radon in Bq/m³ in funzione del tempo per il calcestruzzo CF-LCP con e senza protezione; A→ calcestruzzo non protetto; B → calcestruzzo rivestito con bitume liquido; C → calcestruzzo protetto con guaina industriale [5]

RADIOATTIVITA' E DURABILITA' DEI PAVIMENTI INDUSTRIALI ALL'APERTO

I pavimenti industriali all'aperto non sono esposti al rischio della permeazione del Radon perché il gas si disperde nell'atmosfera senza creare concentrazioni pericolose per la salute umana. Al contrario essi sono esposti ad ambienti che possono essere aggressivi nei confronti del calcestruzzo armato. Questo problema si pone più per i pavimenti esposti all'aperto che non per quelli all'interno di edifici.

Nei pavimenti esterni la situazione della durabilità è molto più complessa e può essere distinta in almeno quattro situazioni:

A) Il calcestruzzo armato in classe di esposizione XC4 (Tabella 2) per la presenza di possibili piogge deve essere confezionato [6]:

- con un rapporto a/c non superiore a 0,50;
- con una R_{ck} di almeno 37 MPa se si impiega un cemento con classe di resistenza 32.5;
- con un copriferro di almeno 30 mm che diventa 40 mm se si richiede una durabilità del pavimento di almeno 100 anni;

B) Il calcestruzzo armato in clima moderato e distante non più di 500 m dalla costa del mare è in classe XS1 (Tabella 3) e per evitare che l'aerosol marino si depositi sul pavimento, con rischio di penetrazione del copriferro dal cloruro e corrosione delle armature metalliche occorre adottare [7]:

- un rapporto a/c non superiore a 0,50;
- una R_{ck} di almeno 37 MPa se si impiega un cemento con classe di resistenza 32.5;
- un copriferro di almeno 35 mm che diventa 45 mm se richiede una durabilità del pavimento di almeno 100 anni;

C) Il calcestruzzo, esposto ai cicli di gelo-disgelo [8] nella stagione invernale (ma non al trattamento dei sali disgelanti) deve essere confezionato (XF3 in Tabella 4) adottando:

- un rapporto a/c non superiore a 0,50;
- una R_{ck} di almeno 37 MPa se si impiega un cemento con classe di resistenza di 32.5;
- un volume minimo di aria inglobata del 4% in volume;
- un copriferro minimo di 30 mm che diventa 40 mm se si richiede una durabilità di almeno 100 anni;

D) Se il pavimento è trattato con sali disgelanti (XF4 in Tabella 4) occorre adottare:

- un rapporto a/c non deve superare 0,45;
- un volume di aria inglobata di almeno 4% in volume;
- un copriferro minimo di almeno 45 mm (per durabilità una di almeno 50 anni) e 55 mm (per una durabilità di almeno 100 anni).

Tabella 2. Classe di esposizione XC secondo la Norma UNI EN 206 ed Eurocodice 2.

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Max a/c	Min. R_{ck} (MPa)	Spessore di copriferro* (mm)	
					c.a.	c.a.p.
XC1	Asciutto	• Interni di edifici con U.R. bassa	0,65	25	15	25
XC2	Bagnato raramente asciutto	• Strutture idrauliche • Fondazioni e strutture interrato	0,60	30	25	35
XC3	Moderatamente umido	• Interni di edifici con U.R. moderata/alta • Strutture esterne protette dal contatto diretto con la pioggia	0,55	37**	25	35
XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato	• Strutture esterne esposte all'acqua piovana	0,50	37***	30	40

* La UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) nei prospetti 4.4N e 4.5N stabilisce lo spessore minimo dei copriferri nelle opere in c.a. e c.a.p. per una durabilità di almeno 50 anni. Per strutture con durabilità di almeno 100 anni lo spessore dei copriferro deve essere aumentato di 10 mm.

** Diventa 35 MPa nella UNI 11104

*** Diventa 40 MPa nella UNI 11104

Tabella 3. Classe di esposizione XS secondo la Norma UNI EN 206 ed Eurocodice 2.

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Max a/c	Min. R_{ck} (MPa)	Spessore di copriferro* (mm) c.a. c.a.p.	
XS1	Moderatamente umido	• Strutture in prossimità delle coste esposte al trascinarsi eolico dell'acqua (aerosol)	0,50	37**	35	45
XS2	Bagnato	• Strutture permanentemente e completamente sotto acqua di mare	0,45	45	40	50
XS3	Ciclicamente asciutto e bagnato	• Strutture esposte discontinuamente all'acqua marina (alta-bassa marea)	0,45	45	45	55

* La UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) nei prospetti 4.4N e 4.5N stabilisce lo spessore minimo dei copriferri nelle opere in c.a. e c.a.p. per una durabilità di almeno 50 anni. Per strutture con durabilità di almeno 100 anni lo spessore dei copriferri deve essere aumentato di 10 mm.

** Diventa 40 MPa nella UNI 11104

Tabella 4. Classe di esposizione XF secondo la Norma UNI EN 206 ed Eurocodice 2.

Classe di esposizione	Ambiente	Esempi di strutture che si trovano nella classe di esposizione	Minimo volume di aria (%)	Max a/c	Min. R_{ck} (MPa)	Spessore di copriferro* (mm) c.a. c.a.p.	
XF1	Moderata saturazione con acqua in assenza di sali disgelanti	• Superfici verticali esposte alla pioggia ed al gelo	—	0,55	37**	30	40
XF2	Moderata saturazione con acqua in presenza di sali disgelanti	• Superfici verticali di strutture stradali esposte a gelo e spruzzi contenenti sali disgelanti	4	0,55	30	45	55
XF3	Elevata saturazione con acqua in assenza di sali disgelanti	• Superfici orizzontali esposte alla pioggia ed al gelo	4	0,50	37**	30	40
XF4	Elevata saturazione con acqua in presenza di sali disgelanti	• Superfici orizzontali e strutture verticali stradali esposte direttamente ai sali disgelanti	4	0,45	37***	45	55

* I copriferri delle classi XF1 ed XF3 sono assimilabili a quelli della classe XC4 (Tabella 2)

I copriferri delle classi XF2 ed XF4 sono rispettivamente assimilabili a quelli della classe XD2 ed XD3

** Diventa 35 MPa nella UNI 11104

*** Diventa 40 MPa nella UNI 11104

CONCLUSIONI

I pavimenti industriali in calcestruzzo all'interno degli edifici industriali poggiati su terreno sono esposti alla penetrazione del gas Radon che risale dal terreno ed attraversa i pori capillari della pasta di cemento che avvolge gli aggregati nel calcestruzzo della fondazione e del pavimento industriale. Il passaggio del Radon attraverso i pavimenti industriali si accumula nell'aria dell'edificio fino a raggiungere livelli di concentrazione pericolosi per la sicurezza dei lavoratori in quanto il Radon provoca tumori polmonari il cui numero è secondo solo a quello registrato nei fumatori di tabacco.

Data la grande differenza tra la piccola dimensione degli atomi del Radon (qualche ångström) e quella molto maggiore del diametro dei pori capillari (0,1-10 mm), la permeazione del Radon attraverso il calcestruzzo dei pavimenti industriali non può essere bloccata utilizzando calcestruzzi di maggiore prestazione in termini di bassa porosità capillare e assenza di fessure. Quindi la curva della concentrazione cumulativa del Radon in funzione del tempo non dipende dal tipo di calcestruzzo impiegato e in breve tempo può raggiungere valori pericolosi per la salute di chi lavora negli edifici industriali, indipendentemente dal conglomerato cementizio impiegato. Problemi analoghi si verificano nei pavimenti senza calcestruzzo in vista degli edifici formati in genere da un massetto di malta ricoperti con piastrelle ceramiche, gres porcellanato, mattoni, linoleum, listelli di legno, incollati al substrato con una normale colla adesiva.

Nei pavimenti industriali in calcestruzzo esposti all'aperto il problema del rischio causato dal Radon non esiste perché il gas Radon, dopo aver attraversato il pavimento industriale in calcestruzzo, si disperde nell'atmosfera senza mai raggiungere concentrazioni pericolose per i lavoratori di queste costruzioni.

Il problema dei pavimenti industriali in calcestruzzo all'aperto consiste, semmai, nel degrado provocato dagli agenti aggressivi ai quali possono essere esposti (pioggia, aerosol marino, cicli di gelo-disgelo con e senza sali disgelanti). Tuttavia questo tipo di problemi che mette a rischio la durabilità dei pavimenti può essere affrontato e risolto positivamente seguendo le raccomandazioni delle Norme Europee ed Eurocodice 2 che indicano l'adozione di un rapporto acqua/cemento massimo e di un copriferro minimo in funzione della vita utile di servizio (almeno 50 o 100 anni). Tornando ai pavimenti industriali in calcestruzzo negli edifici industriali chiusi, Antunes e collaboratori hanno mostrato che per bloccare la risalita del gas Radon dal terreno occorre proteggere la fondazione su cui poggia il calcestruzzo con guaine industriali in bitume, basate da una miscela di bitume distillato modificato con polipropilene, rinforzato da alluminio e una miscela di fibre in vetro [5]. Per una verifica e conferma su quale sia la situazione in uno specifico edificio è importante rivolgersi alla locale l'**ARPA** (Associazione Regionale per la Protezione Ambientale) esistente in ogni regione per eseguire i monitoraggi e per ottenere una certificazione attestante la concentrazione di Radon presente.

Nel caso la radioattività determinata dalla permeazione del Radon attraverso il pavimento industriale ecceda quella considerata accettabile in un edificio industriale (300 Bq/m^3) sono possibili due interventi per l'attuazione del processo di bonifica:

- aumentare il ricambio d'aria con l'esterno: dove questo intervento è possibile, esso è immediato ed efficace per ridurre la concentrazione di Radon. Il maggiore ricambio d'aria può essere ottenuto sia con ventilazione naturale, aprendo

frequentemente finestre e porte, sia con ventilazione forzata, attraverso l'impiego di ventilatori elettrici; laddove questi interventi non siano conciliabili con l'attività svolta nell'edificio industriale o nell'abitazione si deve adottare in alternativa l'intervento descritto qui di seguito;

- sigillare le vie d'ingresso del Radon per bloccare il suo ingresso: questo intervento è più radicale e consiste nell'eseguire sopra il pavimento esistente il trattamento già descritto (per costruire ex-novo pavimenti industriali in calcestruzzo non radioattivi [5]):

- a)** ricoprire con guaine bituminose tutto il pavimento esistente, così come in corrispondenza dei giunti di costruzione e dei giunti di isolamento perimetrale; la guaina bituminosa va risvoltata lungo le pareti e i pilastri che attraversano la pavimentazione venendo incollata "a fiamma" come se si stesse realizzando un'impermeabilizzazione;
- b)** adagiare fogli di tessuti non-tessuti o di polietilene per evitare che le successive operazioni possano danneggiare le guaine bituminose;
- c)** posare i casseri, adagiare un'armatura metallica e gettare il calcestruzzo per uno spessore di 12 cm;
- d)** spianare il calcestruzzo fresco ed applicare lo spolvero industriale sul pavimento pedonabile;
- e)** eseguire sul pavimento i giunti di contrazione, di costruzione e di isolamento senza che il passaggio del Radon sia consentito per la presenza della barriera al Radon.

Un calcestruzzo particolarmente adatto per la sua rapidità di esecuzione (e quindi per la brevità dell'interruzione nell'attività industriale dell'edificio industriale dove si interviene) è quello mostrato nella Tabella 5 [9] che si caratterizza per essere un calcestruzzo privo di ritiro per la presenza di un agente espansivo a base di CaO, a consistenza superfluida (220-240 mm di slump) che non richiede una bagnatura per la stagionatura umida per la presenza di un additivo superfluidificante poliacrilico (PA) combinato con un additivo (SRA) → PA-SRA, dove SRA è l'acronimo di *Shrinkage Reducing Admixture*.

Tabella 5. Composizione in kg/m³ del calcestruzzo superfluido per pavimenti industriali privi di giunti di contrazione e di stagionatura umida.

CEM II A-V 42.5 N	285
ACQUA	176
SABBIA (0-5mm).....	960
GHIAIA (5-25 mm).....	925
PA-SRA	7.0
CaO.....	25

Questo calcestruzzo è gettato rapidamente senza la necessità di eseguire i giunti di contrazione ed il trattamento di stagionatura umida, cosicché è possibile confezionare un pavimento industriale di circa 700 m² al giorno riducendo così al minimo l'intralcio sull'attività in corso nell'edificio.

L'intervento basato sulle guaine industriali in bitume, indicato per bonificare un pavimento industriale in calcestruzzo, può essere anche adottato sopra il pavimento esistente (che non presenta calcestruzzo a vista) come in un supermercato, e nei pavimenti a terra di ristoranti, negozi, alberghi, scuole, attraverso i quali si registra

una permeazione del gas Radon, ricoprendo con una guaina bituminosa tutto il pavimento, adagiando fogli di tessuto non tessuto o di polietilene, posare i casseri, adagiare un'armatura metallica e gettare un massetto in malta di 2-3 cm sul foglio di polietilene e completando l'intervento posando piastrelle ceramiche, gres porcellanato, mattoni, linoleum, listelli di legno, incollati al substrato con una normale colla adesiva.

BIBLIOGRAFIA/REFERENCES

- [1] Pavia, M., Bianco, A., Pileggi, C. and Angelillo, I.F., "*Meta-analysis of residential exposure to radon gas and lung cancer*", Bull World Health Organ, 81, pp. 732-8, 2003.
- [2] Krewski D., Lubin J.H. and Zielinski J.M., "*A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer*", Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A 69(7), pp. 533-597, 2006.
- [3] Harley N.H. and Robbins E.S., "*Radon and leukemia in the Danish study: another source of dose*", Health Physics, 97(4), pp. 343-347, 2009.
- [4] Andolfato, F. ARPA, Treviso, Comunicazione privata.
- [5] Antunes, I., Borsoi A., Ciferri, P., Collepari, S., e Collepari, M., "*Influence of bitumen-base coatings on the permeation of Radon gas emanating from ground through different concrete types*", RACTSI ACI Conference in Milan on November 3-5, 2021.
- [6] Collepari M., Collepari S., e Troli R., di "*Il Nuovo Calcestruzzo*", Sesta edizione, pg. 199, Grafiche Tintoretto, 2014.
- [7] Collepari, M., Collepari S., e Troli R., di "*Il Nuovo Calcestruzzo*", Sesta edizione, pg. 203, Grafiche Tintoretto, 2014.
- [8] Collepari, M., Collepari, S., e Troli R., di "*Il Nuovo Calcestruzzo*", Sesta edizione, pg. 206, Grafiche Tintoretto, 2014.
- [9] Collepari, M., Troli, R., Bressan, M., Liberatore, F., Sforza, G., "*Crack-Free Concrete for Outside Industrial Floors in the Absence of Wet Curing and Contraction Joints*", Eight CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures, SUPPLEMENTARY VOLUME, pp. 103-115, Sorrento, Italy, October 29-November 1, 2006.