

I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI **INGEGNERI**



ASSOCIAZIONE
TECNOLOGI
PER L'EDILIZIA



CONVEGNO ON LINE
MERCOLEDÌ 8 FEBBRAIO 2023, ORE 13.45 - 18.30

COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO E RADON
PROBLEMI E SOLUZIONI IN ACCORDO AL D. Leg. 101/2020

**PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER PAVIMENTI INDUSTRIALI IN
CALCESTRUZZO POGGIANTI SU TERRENO**

Silvia Collepari

ENCO

EN.CO srl Laboratorio ricerca e prove su materiali da costruzione

Evento organizzato con la collaborazione della:

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

PRINCIPALI NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Generali per il calcestruzzo:

NTC DM 17/1/18+Circ espl 2019 (a rigore solo in caso di elementi con funzione strutturale)

UNI EN 206/2021 + UNI 11104/2016: Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità

CNR-DT 204/2006 Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato + **LL.GG sugli FRC Cons sup LL.PP. Agg nov 2021**

Specifici per pavimenti:

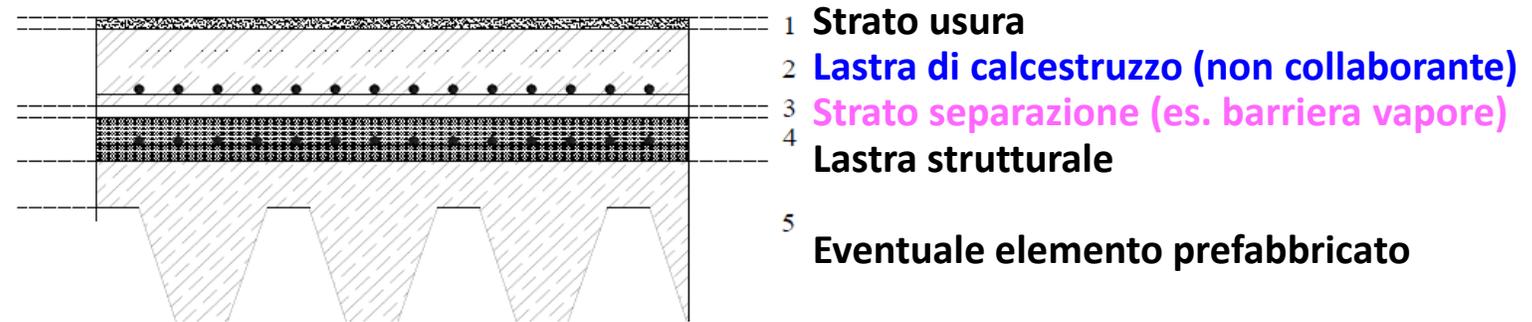
- **CNR-DT 211/2014** - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo
- **UNI 11146:2005** – Pavimenti di calcestruzzo ad uso industriale – Criteri per la progettazione, la costruzione ed il collaudo
- **Serie UNI 13877/1,2,3** Pavimentazioni in calcestruzzo soggette a traffico (anche per immagazzinaggio)
- **Linee Guida CONPAVIPER** per la prescrizione di calcestruzzi fibrorinforzati per la realizzazione di pavimentazioni

TIPI DI PAVIMENTI

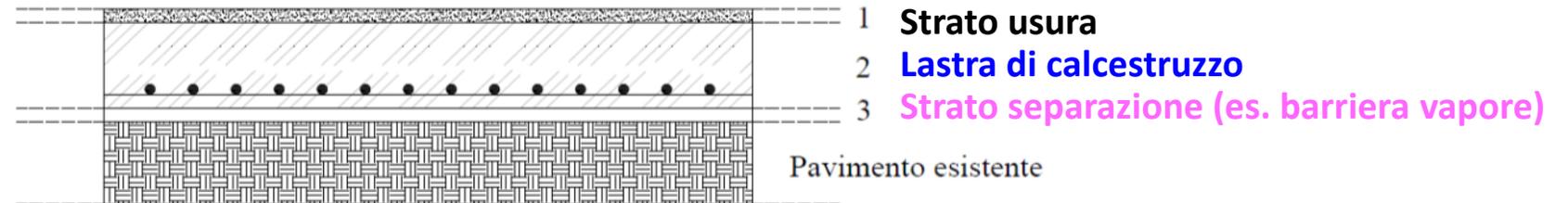
- Su terreno



- Su soletta



- Su pavimento esistente



- Interni o Esterni

PAVIMENTI INDUSTRIALI POGGIANTI SU TERRENO INTERNI

CLASSI DI ESPOSIZIONE UNI EN 206 + UNI 11104

Classe di esposizione	Ambiente	Tipo di struttura	Numero di sottoclassi
XO	Nessun rischio di corrosione (interni di edifici con UR molto bassa)	Non armata e armata	1
XC	Corrosione delle armature promossa dalla carbonatazione	Armata	4
XD	Corrosione delle armature promossa dai cloruri esclusi quelli presenti in acqua di mare	Armata	3
XS	Corrosione delle armature promossa dai cloruri dell'acqua di mare	Armata	3
XF	Degrado del calcestruzzo per cicli di gelo-disgelo	Non armata e armata	4
XA	Attacco chimico del calcestruzzo (incluso quello promosso dall'acqua di mare)	Non armata e armata	3

SOTTOCLASSI XC: prescrizioni per durabilita' ≥ 50 anni

**PAVIMENTI
INTERNI**

CLASSE DI ESPOSIZIONE	DESCRIZIONE DELL' AMBIENTE	ESEMPI AMBIENTE	Max. a/c	R _{ck} min (MPa)*	Spessore min. di copriferro (mm)**	
					c.a.	c.a.p
XC1	Asciutto	Interno di edifici con bassa UR	0.60	30	15	25
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Strutture che trattengono acqua	0.60	30	25	35
XC3	Umidità moderata	- Interni di edifici con aria a moderata-alta UR - Strutture esterne protette da pioggia	0.55	37	25	35
XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	- Strutture esterne esposte alla pioggia	0.50	40	30	40

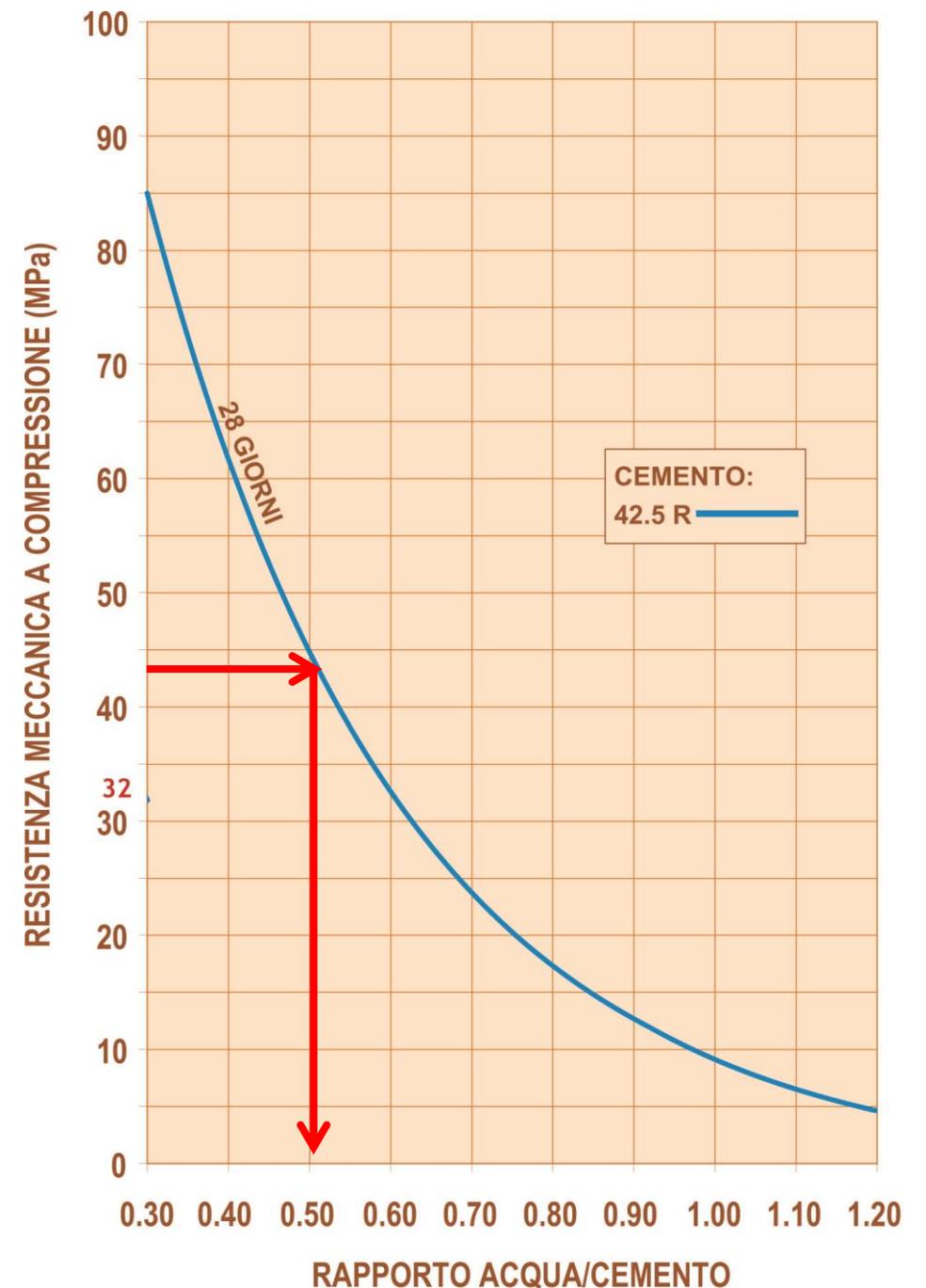
* Mediamente corrispondenti agli a/c se si utilizza un CEM 42.5

** Prosp. 4.4N EN 1992-1-1 + Tab. §C.4.1.IV Circ Espl (aumentare di 10 mm se V_n \geq 100 anni)

R_{ck} E RAPPORTO a/c DEL CALCESTRUZZO

- Ipotesi che R_{ck} min di 37MPa per la durabilità coincida con quella richiesta anche per le sollecitazioni meccaniche
- Ipotesi di un impianto di cls con uno sqm in produzione di 4 *:
- $R_{cm28} = R_{ck} + 1,48 \cdot 4 = 37 + 5,9 \approx 43\text{MPa}$
- Dalla Figura si calcola che, con un cemento 42.5 R, la R_{cm28} 43MPa corrisponde ad un a/c di circa 0,50 < 0,55 prescritto dalla durabilità in XC3

* Mediamente la produzione di cls prevede la progettazione delle ricette con $R_{cm} = R_{ck} + 6-10\text{MPa}$ corrispondenti a sqm di 4-6



PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER IL PRODUTTORE DI CALCESTRUZZO

PRINCIPALI:

Classe di esposizione **XC3**

Classe di resistenza R_{ck} **37MPa con CEM 42.5 R.**

Classe di consistenza per garantire rapidità di messa in opera con un grado di compattazione $g_c = Mv \text{ reale} / Mv \text{ nomin.} > 0,97 \rightarrow$ superfluida **slump 220-240 mm al getto**

Dmax aggregato: $\leq 3/4$ copriferro, \leq interferro-5mm; $\leq 1/4$ spessore soletta \rightarrow tipicamente **20mm**

PRESCRIZIONI DI CAPITOLATO PER IL PRODUTTORE DI CALCESTRUZZO

AGGIUNTIVE:

Ritiro igrometrico: con giunti contraz. $< 500\mu\text{m}/\text{m}$ a 28gg; senza giunti $< 350\mu\text{m}/\text{m}$ (§ 4.3.5.2 CNR-DT 211)

Modulo elastico, resistenza a trazione indiretta e a flessione: stima R_{cm} e a/c corrispondenti con formule teoriche \rightarrow prescrizione R_{ck} congruente con tali richieste

Contenuto di fibre e classe di tenacità FRC (§4.2.4 CNR-DT 211) : se cls non in produzione prove preliminari secondo UNI EN 14651

riguardano invece l'**impresa** e non il produttore di cls le prescrizioni relative alla **barriera contro il radon** così come l'esecuzione di sistemi / camini di aerazione previsti da progetto

PAVIMENTI INDUSTRIALI POGGIANTI SU TERRENO CHE SI TROVANO ALL'ESTERNO

- **Escluso il problema della radioattività** pericolosa per la salute perché il Radon si disperde nell'aria.
- Occorre verificare che il pavimento sia **durabile almeno 50 anni** in relazione alla specifica classe di esposizione ambientale .
- Solo per **pavimenti di particolare pregio** estetico (esempio la Terrazza Mascagni a Livorno) si potrebbe arrivare a prescrivere una durabilità di almeno **100 anni**.

PAVIMENTI INDUSTRIALI POGGIANTI SU TERRENO ESTERNI

CLASSI DI ESPOSIZIONE UNI EN 206 + UNI 11104

Classe di esposizione	Ambiente	Tipo di struttura	Numero di sottoclassi
XO	Nessun rischio di corrosione (interni di edifici con UR molto bassa)	Non armata e armata	1
XC	Corrosione delle armature promossa dalla carbonatazione	Armata	4
XD	Corrosione delle armature promossa dai cloruri esclusi quelli presenti in acqua di mare	Armata	3
XS	Corrosione delle armature promossa dai cloruri dell'acqua di mare	Armata	3
XF	Degrado del calcestruzzo per cicli di gelo-disgelo	Non armata e armata	4
XA	Attacco chimico del calcestruzzo (incluso quello promosso dall'acqua di mare)	Non armata e armata	3

2 ESEMPI DI CALCESTRUZZI CON:

- Uguale **Dmax 20mm**
- Uguale classe di consistenza **S5**
- Stessa **Rck di 30MPa** ai fini strutturali
- Stessa classe di **cemento 42.5R** (ma **ARS** per cls in **XA2**)
- Stessa vita utile 50 anni ma in diverse classi di esp. **XC4** o **XA2**

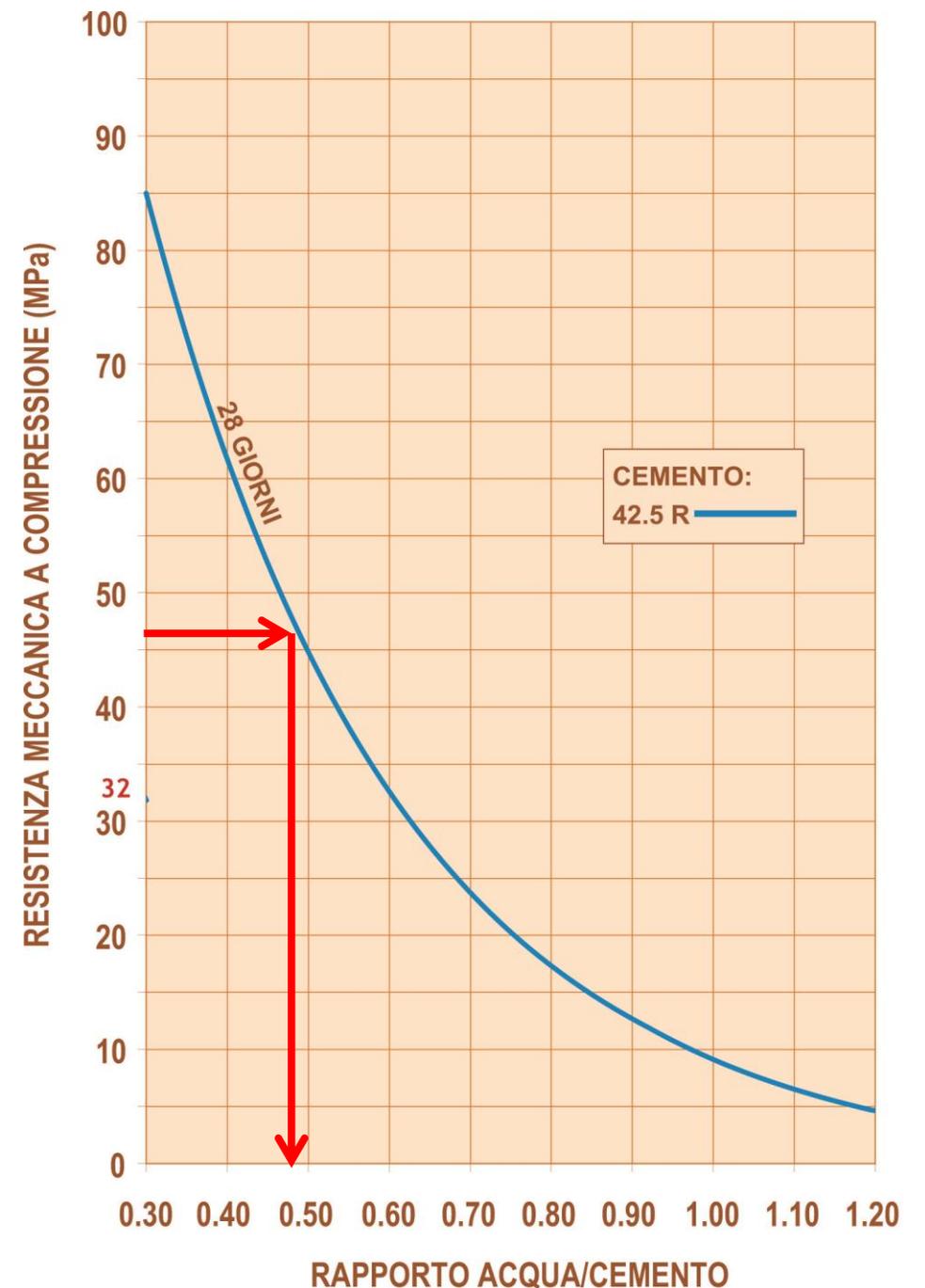
CLASSE DI ESPOSIZIONE	DESCRIZIONE DELL' AMBIENTE	ESEMPI AMBIENTE	Max. a/c	R _{ck} min (MPa)	Spessore min. di copriferro (mm)**	
					c.a.	c.a.p
XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Pavimento esterno esposto alla pioggia	0.50	40	30	40
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo	Pavimento esterno su terreno con SO₄⁻⁻ 3000-12000kg/mc*	0.50	40	30	40

* Richiesto l'impiego di un cemento ad alta resistenza ai solfati (tipo SR EN 197/1 e ARS UNI 9156)

** Prosp. 4.4N EN 1992-1-1 + Tab. §C.4.1.IV Circ Espl ; aumentare di 10 mm se V_n ≥ 100 anni)

PAVIM. IN CLASSE XC4

- Si deve prevedere la R_{ck} più alta tra quella per la durabilità (40MPa) e quella strutturale (30MPa) → R_{ck} 40MPa
- Ipotesi di un impianto di cls con uno sqm in produzione di 4 :
- $R_{cm28} = R_{ck} + 1,48 \cdot 4 = 40 + 5,9 \approx 46\text{MPa}$
- Dalla Figura si calcola che, con un cemento 42.5 R, la R_{cm28} 46MPa corrisponde ad un a/c di circa 0,48 < 0,50 prescritto dalla durabilità in XC4 e XA2



PRESCRIZIONI CAPITOLATO PER IMPRESA:

- **Regolarizzare** (< 20mm/4m) e **compattare il terreno di sottofondo** per ottenere le caratteristiche elastiche di progetto (§8.4.1 UNI 11146, $k > 0,03 \text{N/m}^3$) da verificare mediante prove preliminari (§9.5.1 CNR-DT 211/2014)
- Predisporre i **giunti di isolamento e di costruzione** come da progetto
- Se richiesta, posizionare sul sottofondo la **barriera impermeabile a liquidi e vapore** con sovrapposizioni > 15cm + protezione da lacerazione es. con geotessuto
- Se richiesta all'interno, applicare sul sottofondo la **barriera anti-radon** risvoltandola sui muri a contatto con il pavimento, incollandola con sistemi indicati dal produttore del materiale
- Garantire che **reti e armature** vengano mantenute orizzontali e nelle posizioni di progetto (circa $h/3$ e > 4-6cm da superficie) e comunque con **copriferri conformi alle classi esposizione**.

PRESCRIZIONI CAPITOLATO PER IMPRESA:

- Gettare e compattare il calcestruzzo con un grado di compattazione $gc \geq 0,97$
- Spianare il calcestruzzo fresco in modo da garantire i valori limite o di progetto di **planarità**, (prosp. 2 UNI 11146: $\pm 4\text{mm}/1\text{m}$; $\pm 5\text{mm}/2\text{m}$, $\pm 6\text{mm}/4\text{m}$) e di **orizzontalità** (prosp. 3 UNI 11146: $\leq 10\text{m} \pm 15\text{mm}$; $\leq 25\text{m} \pm 20\text{mm}$; $\leq 50 \pm 25\text{mm}$; $\leq 100 \pm 35\text{mm}$) o **pendenza**
- Quando previsto, **entro i tempi di inizio e fine presa** del cls, applicare lo **spolvero indurente** con le composizioni e i dosaggi di progetto (es. 2-6kg/mq spolvero o 15-30kg/mq pastina) in funzione del tipo di lavorazioni e condizioni di traffico (§6.5-6.6-7.3-9.2.6 UNI 11146 e §2.2.3 e 9.4.8 CNR-DT 211)
- **Coibentare/stagionare a umido** il getto (§9.2.9 UNI 11146 e §9.4.9 CNR-DT 211) per almeno **7 giorni** (meglio se $>14\text{gg}$) o in alternativa applicare sulla superficie un agente stagionante (!! la presenza di una barriera impermeabile aumenta il fenomeno di imbarcamento da ritiro differenziale)
- Eseguire i **giunti di contrazione** appena possibile dopo l'indurimento

VERIFICHE DEL DIRETTORE DEI LAVORI (DL) (NTC+CNR-DT 211CNR)

- Verifiche preliminari e in corso d'opera sul **terreno di sottofondo** (§9.5.1 CNR-DT 211/2014)
- **Verifica DdT e massa volumica** allo stato fresco → verifica volume consegnato
- **Slump** al momento del getto
- Contenuto d'**aria** <3% o >4% in cls aerati in classi XF
- Prelievi di **cubetti** per i controlli accettazione della **Rck** secondo NTC da inviare ad un Laboratorio Ufficiale
- Controllo eventuali proprietà aggiuntive (es. **tempi di presa, acqua essudata, ritiro igrometrico, Es, Rt, Rf**; per FRC **contenuto di fibre e classe tenacità** §10.1.4.1CNR-DT 211)
- Eventuale verifica di **spessori** con microfori o carote o metodi non distruttivi
- Eventuale verifica **grado di compattazione gc** mediante estrazione di carote
- Per i soli pavimenti soggetti a traffico (UNI 13877) verifica della **Rc in sito** tramite carotaggi
- Eventuale verifica dello **strato usura** messo in opera (3 metodologie)
- Verifica entro 72h dal getto di **planarità** (app. A UNI 11146), **orizzontalità o pendenze**

VERIFICHE DEL DIRETTORE DEI LAVORI (DL): CONTROLLI SPECIALI IN SISTEMI ANTIRADON

- Verifica attuazione **prescrizioni indicate dall' Esperto in interventi di risanamento da radon** nell'edilizia (art. 15 DLgs 101/20, vedi intervento su risanamento)
- Verifica **corretta applicazione** barriera al radon in accordo con le indicazioni del produttore del materiale
- Terminati i lavori del pavimento, verifica l'effettiva **efficacia** del sistema di **barriera al radon messa in opera** con la richiesta di ripetizione delle misure di concentrazioni di radon.

CONCLUSIONI

Le prestazioni di capitolato per pavimenti industriali in calcestruzzo poggianti su terreno, e in particolare quelli in presenza di radon, cambiano radicalmente a seconda che i pavimenti si trovino all'interno di un edificio o esposti all'aria:

- Per i pavimenti **all'interno** di un edificio occorre rispettare le prestazioni ordinarie come la R_{ck} e una classe di esposizione di modesta aggressività XC3 e le **prescrizioni straordinarie** necessarie a garantire **emissioni di radioattività inferiori a 300 Becquerel (Bq)/m³ luoghi lavoro e attuali abitazioni e a 200 Bq/m³ per abitazioni che saranno eseguite dopo il 31 dicembre 2024.**
- Per i **pavimenti esterni** il **problema della radioattività non esiste** perché il gas radon si disperde nell'aria, tuttavia, esistono **più severe condizioni** di durabilità in funzione **dell'aggressività dell'ambiente**

COSTRUZIONI IN CALCESTRUZZO E RADON - PROBLEMI E SOLUZIONI IN ACCORDO AL DL 101 DEL 2020 - 08 febbraio 2023

GRAZIE
PER L'ATTENZIONE

ENCO

EN.CO srl Laboratorio ricerca e prove
su materiali da costruzione