



Seminario  
**La mappa del radon in Piemonte:  
un aggiornamento ai sensi del d.lgs. 101/2020**

26 maggio 2023

Sala polifunzionale dell'Arpa Piemonte Via Pio VII, 9 - TORINO



# **Radon: valutazione e riduzione del rischio sanitario**

**Francesco Bochicchio**

Direttore del Centro Nazionale Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale  
Istituto Superiore di Sanità



CENTRO NAZIONALE  
PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI  
E FISICA COMPUTAZIONALE

# SOMMARIO

## A) Valutazione del rischio sanitario:

cosa ci dicono gli studi epidemiologici sui rischi per la salute prodotti dall'esposizione al radon?

## B) Riduzione del rischio sanitario:

come ottenere un'efficace riduzione (individuale e complessiva) di tali rischi?

# Premessa

## A) Valutazione del rischio sanitario:

- Per brevità ci limiteremo a riportare alcuni elementi relativi al solo rischio di **tumore polmonare**.

N.B. Le normative sul radon indoors si basano proprio su questo rischio

- Sempre per brevità ci riferiremo ai “rischi da radon” intendendo con questo i rischi connessi all’esposizione al radon (Rn-222) e ai suoi prodotti di decadimento.

# Classificazione del radon come agente cancerogeno (WHO-IARC)

## 1988 (IARC Monograph vol.43)

- Sufficient evidence of carcinogenicity in humans and in animals (**GROUP 1**)
- Based on **8 cohort studies** of underground **miners** exposed to **high Rn**

## 2001 (IARC Monograph vol.78)

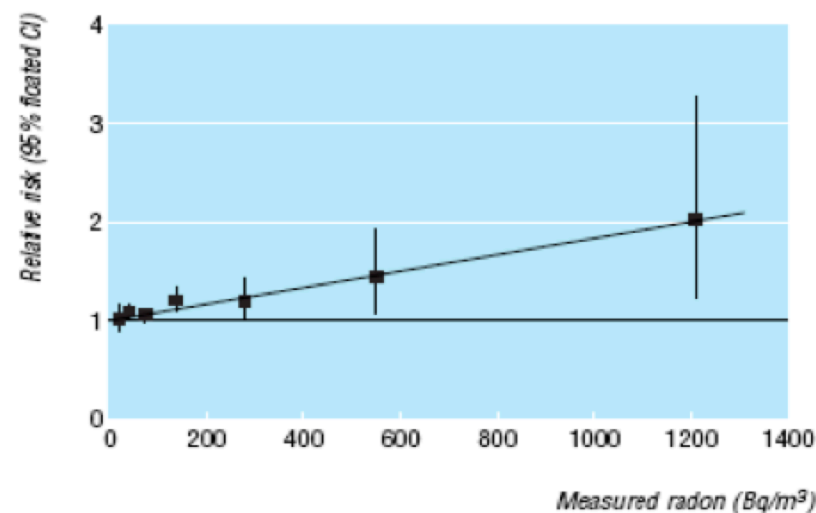
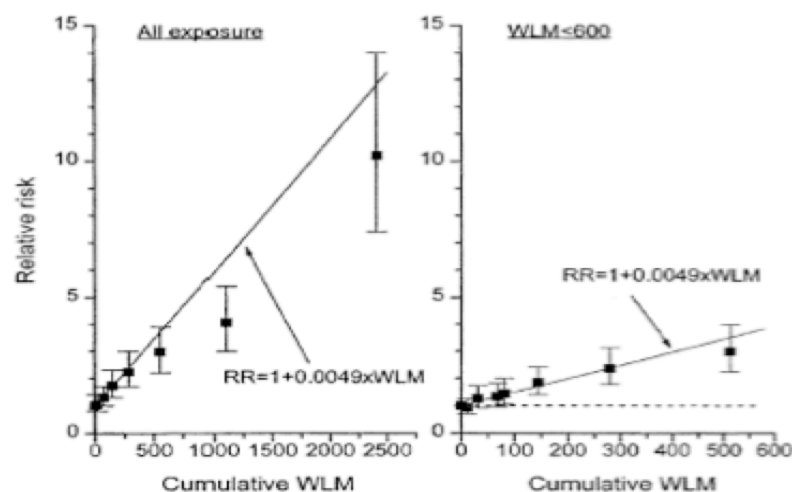
- Sufficient evidence of carcinogenicity in humans (**GROUP 1**)
- Based on **12 cohort studies** (11 pooled) of underground **miners** exposed to **high Rn**
- Results from **case-control studies** (13, 8 with meta-analysis) on exposure to **Rn in dwellings** are **consistent** with those from miner studies

## 2012 (IARC Monograph vol.100D)

- Sufficient evidence of carcinogenicity in humans (**GROUP 1**)
- **Confirmed** by recent cohort studies on **miners** exposed to **lower levels**
- Based also on results from **3 pooled analyses of case-control studies** (13 in Europe, 7 in North-America, 2 in China) on exposure to **Rn in dwellings**

## Il rischio (di tumore polm.) è evidente solo per livelli elevati di Rn?

- **NO**, il rischio risulta **linearmente proporzionale** al livello di Rn (16%/100 Bq/m<sup>3</sup> per esposizioni continue)
- Vi sono evidenze anche analizzando solo le esposizioni a livelli medi inferiori a 200 Bq/m<sup>3</sup> (**no estrapolazione**)
  - Ad es. chi è esposto a livelli compresi tra 100 e 200 Bq/m<sup>3</sup> ha il **20%** in più di rischio di chi è esposto a livelli inferiori a 100 Bq/m<sup>3</sup>:
    - RR a 100–200 Bq m<sup>-3</sup> vs <100 Bq m<sup>-3</sup> = 1.2 (95% CI=1.03–1.30)

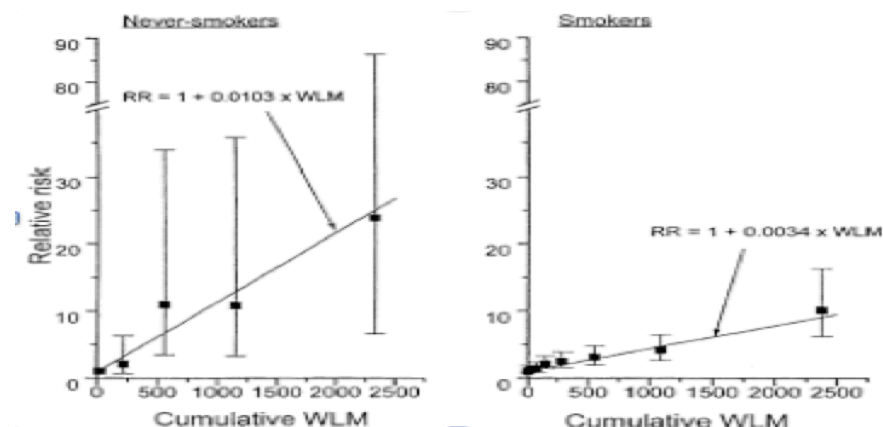
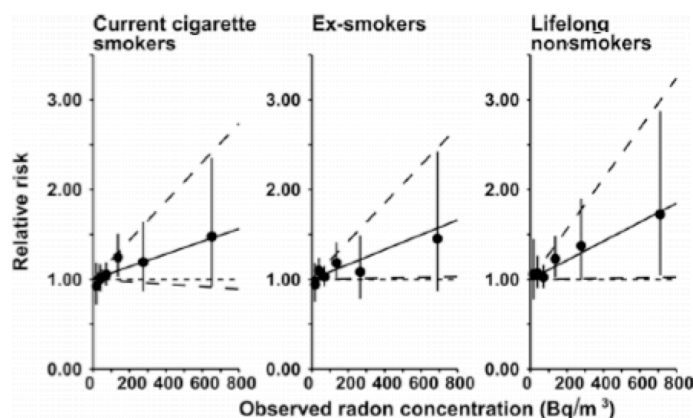


## C'è una soglia sotto la quale il rischio (di tumore polm.) è nullo?

- **NO**, il rischio risulta linearmente proporzionale al livello di esposizione al Rn.
- NO, **non vi sono evidenze coerenti** (né da studi epidemiologici né da studi di radiobiologia) **della esistenza di una “soglia di sicurezza”** (cioè di livello sotto il quale il rischio sia nullo).
- Dal punto di vista della **plausibilità biologica**, una dose anche molto piccola di radiazioni ionizzanti può creare dei danni al DNA che, con una probabilità piccola ma proporzionale alla dose, possono non essere riparati correttamente e propagarsi fino a dare origine a un tumore.
- Ovviamente gli studi epidemiologici forniscono risultati con **maggiore incertezza per livelli via via più bassi** di esposizione al radon.
- NB: **il livello di riferimento NON è una soglia** sotto la quale il rischio sia nullo e sopra la quale il rischio è 100%.

## Il rischio (di tumore polm.) è evidente solo per i fumatori?

- **NO**, il rischio risulta evidente anche per i non fumatori e gli ex-fumatori.
- Il rischio relativo (RR) al crescere dell'esposizione al radon è simile per tutti (fumatori, ex-fumatori e mai fumatori) negli studi nelle abitazioni, ma negli studi sui minatori il RR per i non fumatori è 2-3 volte maggiore.



- Il rischio a parità di esposizione al radon è però molto maggiore per i fumatori a causa dell'effetto combinato di radon e fumo di sigarette: circa 20 volte più alto per chi fuma un pacchetto di sigarette al giorno rispetto a chi non fuma (in caso di RR da radon uguale).

## Quanti casi (di tumore polm.) sono attribuibili al Rn Italia?

- L'ISS ha stimato che il 10% circa dei casi di tumore polmonare in Italia (circa 3400 ogni anno, di cui circa 300 in Piemonte) è attribuibile all'esposizione al radon nelle abitazioni.
- Di questi circa i 4/5 sono attesi tra i fumatori per l'effetto combinato di radon e fumo.
- I tumori attribuibili a livelli > 300 Bq/m<sup>3</sup> sono solo il 6% (>200 Bq/m<sup>3</sup> il 15%) del totale dei casi attribuibili al Rn.

### *RADON REFERENCE LEVELS AND PRIORITY AREAS*

**Table 1. Distribution with radon levels of the LCs attributable to radon and of the population in Italy.**

Range of Rn concentration (Bq m <sup>-3</sup> )	Number of LCs attributable to radon	% of LCs attributable to radon	% of exposed population
0–50	695	20	47
50–100	1157	34	34
100–150	680	20	11
150–200	367	11	4
200–250	202	6	2
250–300	114	3	1
>300	196	6	1
All	3412	100	100

*Bohicchio et al, Radiation Protection Dosimetry, Vol.177 (1-2), 87–90, 2017*



# SOMMARIO

## B) Riduzione del rischio sanitario:

come ottenere un'efficace riduzione (individuale e complessiva) di tali rischi?

## Come ridurre il numero di tumori polmonari da Rn: alcuni concetti generali

- Per ridurre il numero di tumori polmonari da esposizione al radon serve:
  - ridurre/prevenire il Rn nel maggior numero di case (qui ci limitiamo a questo);
  - ridurre/prevenire il fumo nel maggior numero di persone;
  - seguire entrambi gli approcci (il più efficace).
- Data la distribuzione log-normale dei livelli di concentrazione di Rn, **intervenire solo sulla coda dei valori alti di tale distribuzione produce una riduzione molto limitata.**
- Data la linearità del rischio, ridurre il Rn da 300 a 200 Bq/m<sup>3</sup> ha lo stesso effetto (di riduzione del rischio) che ridurre da 200 a 100 Bq/m<sup>3</sup>.
- Bisognerebbe quindi intervenire:
  - sulle case esistenti, dando priorità (ma non esclusività) ai livelli medio-alti e poi passare a quelli inferiori;
  - in tutte le abitazioni di futura costruzione.

## Intervenire solo (o quasi) sui luoghi di lavoro è efficace?

- **NO.** La gran parte dell'esposizione al radon avviene nelle abitazioni e quindi la gran parte dei casi attribuibili (ed evitabili) è connessa all'esposizione in casa e non nei luoghi di lavoro:
  - nei luoghi di lavoro si passa in media meno di un terzo del tempo che si passa nelle abitazioni;
  - durante le ore lavorative i livelli di radon sono generalmente molto inferiori rispetto al resto della giornata (le ore serali, notturne e al mattino presto);
  - spesso i luoghi di lavoro sono dotati di impianti di ventilazione che riducono ulteriormente i livelli di radon durante l'orario di lavoro.
- Purtroppo l'esperienza insegna che con un **approccio raccomandatorio** e la sola informazione **le azioni di risanamento vengono effettuate solo in una piccola frazione delle abitazioni** che superano il livello di riferimento. Servono incentivi o obblighi.
  - Così come nei luoghi di lavoro

## E' sufficiente un approccio raccomandatorio per le abitazioni?

- **NO.** Purtroppo l'esperienza generale (incluso quella italiana) insegna che con un **approccio raccomandatorio**, basato sulla sola informazione, **le azioni di risanamento vengono effettuate solo in una piccola frazione delle abitazioni** su cui si raccomanda di intervenire (ad es. per livelli superiori al livello di riferimento).
- Servono **obblighi e incentivi**.
- Del resto... la stessa cosa avviene per i luoghi di lavoro e per altri fattori di rischio nelle abitazioni.

## Ottimizzazione e “livello di riferimento”

- **Ottimizzazione:** “La probabilità di esposizione, il numero di persone esposte, l’entità delle dosi individuali devono essere tenute al livello più basso ottenibile, tenendo conto di fattori sociali e economici.” (ICRP-103, pag. 14)
- **Livello di riferimento:** è uno strumento guida per l’applicazione del principio di ottimizzazione; rappresenta il livello **sopra il quale è inappropriato** permettere l’esposizione **e sotto il quale continuare ad applicare l’ottimizzazione**.
  - E’ diverso dal precedente “livello di azione” (non solo come valore ma anche come significato)
- Quindi:
  - **bisognerebbe ridurre tutte le concentrazioni >LR, ma anche parte di quelle <LR.**

## Quali criteri per definire le aree prioritarie?

- Le aree prioritarie dovrebbero essere definite inizialmente in modo da **contenere una frazione elevata di tutti i superamenti del livello di riferimento**.
- La definizione dovrebbe essere **aggiornata fino a includere** le aree che nel complesso contengono **una frazione il più possibile vicina al 100%** dei superamenti del LR.
- Alcuni stati europei, nel recepire la Direttiva 2013/59/Euratom, hanno ritenuto fattibile definire da subito **tutto il territorio come area prioritaria**,
  - per evitare di tralasciare un numero significativo di superamenti del LR;
  - questo ha anche il vantaggio di non dover classificare il territorio e dare indicazioni/prescrizioni differenziate.

## Le mappature sono utili? Sono sufficienti?

- Sono uno strumento e non un fine.
- Sono un aiuto per le autorità per dare priorità temporale all'azione dove i livelli sono maggiori (se si considera non fattibile intervenire su tutto il territorio),
  - senza però trascurare le altre aree dove pure si trovano livelli di  $R_n$  superiori al livello di riferimento, sia pur in percentuale inferiore (ma in numero superiore se con maggiore popolazione).
- Non servono a stimare il livello di  $R_n$  in uno specifico edificio (abitazione o luogo di lavoro). A tale scopo è necessaria la misurazione, che comunque costa poche decine di euro.
- Sono solo uno stadio, utile, del processo di che porta alla riduzione dei casi di tumore polmonare attribuibile al radon. Una volta disponibile la mappa:
  - bisogna identificare tutti i luoghi di lavoro (e soprattutto le abitazioni) con livelli  $> LR$ ;
  - bisogna intervenire in tutti i casi in cui il livello  $> LR$  (e in parte di quelli  $< LR$ ).

## Interazioni con altre problematiche

### Radon e fumo

- Confondimento e sinergia negli effetti.
- Nonostante questo, niente è previsto in ambito di pianificazione/normazione.

### Radon e risparmio energetico

- I “cappotti” **aumentano** il risparmio energetico ma, se non adeguatamente progettati e realizzati, anche **il livello di radon**.
- Si dovrebbe tener conto di questo nelle procedure tecniche, nei regolamenti e negli incentivi.



## Alcune considerazioni conclusive

- Lo scopo di un piano nazionale **contro** il radon dovrebbe essere **ridurre il più possibile i tumori polmonari attribuibili al radon** tramite:
  - Risanamento delle abitazioni esistenti (**tutte** quelle >LR e **parte** di quelle <LR);
  - Prevenzione/ostacolo all'ingresso di Rn in **tutte** le nuove/future costruzioni.
- Va data **priorità agli interventi nelle abitazioni** rispetto ai luoghi di lavoro, in quanto l'esposizione nelle abitazioni è oltre 5 volte superiore a quella nei luoghi di lavoro.
  - La sola informazione non è sufficiente a promuovere gli interventi contro il radon nelle abitazioni, **servono obblighi e incentivi**.
- Senza adeguati **indicatori di efficacia** (in termini di numero di risanamenti di case esistenti e di numero di case nuove con sistemi di prevenzione) non si è in grado di valutare l'efficacia del piano.
  - Tali indicatori sono richiesti dalla direttiva e dai criteri di delega al recepimento della direttiva.
  - La necessità di tali indicatori è riconosciuta anche dall'HERCA (prossima slide).

Article

# National Radon Action Plans in Europe and Need of Effectiveness Indicators: An Overview of HERCA Activities

Francesco Bochicchio <sup>1,\*</sup>, David Fenton <sup>2</sup>, Heloisa Fonseca <sup>3</sup>, Marta García-Talavera <sup>4</sup>, Pierrick Jaunet <sup>5</sup>,  
Stephanie Long <sup>6</sup>, Bård Olsen <sup>6</sup>, Jelena Mrdakovic Popic <sup>6</sup> and Wolfgang Ringer <sup>7</sup>

- <sup>1</sup> National Center for Radiation Protection and Computational Physics, Italian National Institute of Health (ISS—Istituto Superiore di Sanità), 00161 Rome, Italy
- <sup>2</sup> Office of Radiation Protection and Environmental Monitoring, Environmental Protection Agency (EPA), Dublin 14, Ireland; d.fenton@epa.ie (D.F.); s.long@epa.ie (S.L.)
- <sup>3</sup> Emergency and Radiation Protection Department, Portuguese Environmental Agency (APA—Agência Portuguesa do Ambiente), 2010-124 Amadora, Portugal; heloisa.fonseca@ambiente.pt
- <sup>4</sup> Nuclear Safety Council (CSN—Consejo de Seguridad Nuclear), 28040 Madrid, Spain; mgmr@csn.es
- <sup>5</sup> Ionizing Radiation and Health Department, French Nuclear Safety Authority (ASN—Autorité de Sûreté Nucléaire), 92120 Montrouge, France; pierrick.jaunet@asn.fr
- <sup>6</sup> Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority (DSA), 1361 Osterås, Norway; bard.olsen@dsa.no (B.O.); jelena.popic@dsa.no (J.M.P.)
- <sup>7</sup> Department for Radon and Radioecology, Austrian Agency for Health and Food Safety (AGES), 4020 Linz, Austria; wolfgang.ringer@ages.at

\* Correspondence: francesco.bochicchio@iss.it



**Citation:** Bochicchio, F.; Fenton, D.; Fonseca, H.; García-Talavera, M.; Jaunet, P.; Long, S.; Olsen, B.; Mrdakovic Popic, J.; Ringer, W. National Radon Action Plans in Europe and Need of Effectiveness Indicators: An Overview of HERCA Activities. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 4114. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074114>

**Academic Editors:** Units Font Guillens, Luis Santiago Quintás Poncea and Georgia Cinielli

**Received:** 14 February 2022  
**Accepted:** 24 March 2022  
**Published:** 30 March 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Protection of the population and of workers from exposure to radon is a unique challenge in radiation protection. Many coordinated actions and a variety of expertise are needed. Initially, a National Radon Action Plan (NRAP) has been developed and implemented by some countries, while it is currently recommended by international organizations (e.g., World Health Organization) and required by international regulations, such as the European Council Directive 2013/59/Euratom and the International Basic Safety Standards on Radiation Protection and Safety of Radiation Sources, cosponsored by eight international organizations. Within this framework, the Heads of the European Radiological Protection Competent Authorities (HERCA) have organized activities aimed at sharing experiences to contribute toward the development and implementation of effective NRAPs. Two workshops were held in 2014 and 2015, the latter on radon in workplaces. As a follow-up to these, an online event took place in March 2021, and a second specific workshop on NRAP is planned for June 2022. These workshops were attended by experts from the competent authorities of European countries, relevant national and international organizations. The experience of several countries and the outcomes from these workshops have highlighted the need for adequate indicators of the effectiveness and progress of the actions of NRAPs, which could also be useful to implement the principle of optimization and the graded approach in NRAPs. In this paper, the activities of HERCA to support the development and implementation of effective NRAPs are described and some examples of effectiveness indicators are reported, including those already included in the NRAP of some European countries.

**Keywords:** radon; policy; regulations; indicators; effectiveness; national radon action plans; radon programs; radioprotection

## 1. Introduction

After smoking, exposure to radon is a major cause of lung cancer worldwide, and it is one of the leading causes among never-smokers. In Europe, it is deemed to be responsible for about 20,000 cancer deaths per year [1]. Accordingly, protection against radon is one of the actions included in Europe's Beating Cancer Plan [2].

# I Piani Nazionali d'Azione Radon e la necessità di indicatori di efficacia: le attività dell'HERCA.

(paper liberamente scaricabile in quanto “open access”)

L'HERCA è l'associazione delle autorità competenti europee di radioprotezione

**Grazie per la vostra attenzione**



CENTRO NAZIONALE  
**PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI  
E FISICA COMPUTAZIONALE**

Radon: valutazione e riduzione del rischio sanitario  
*Francesco Bochicchio*

26 maggio 2023

19