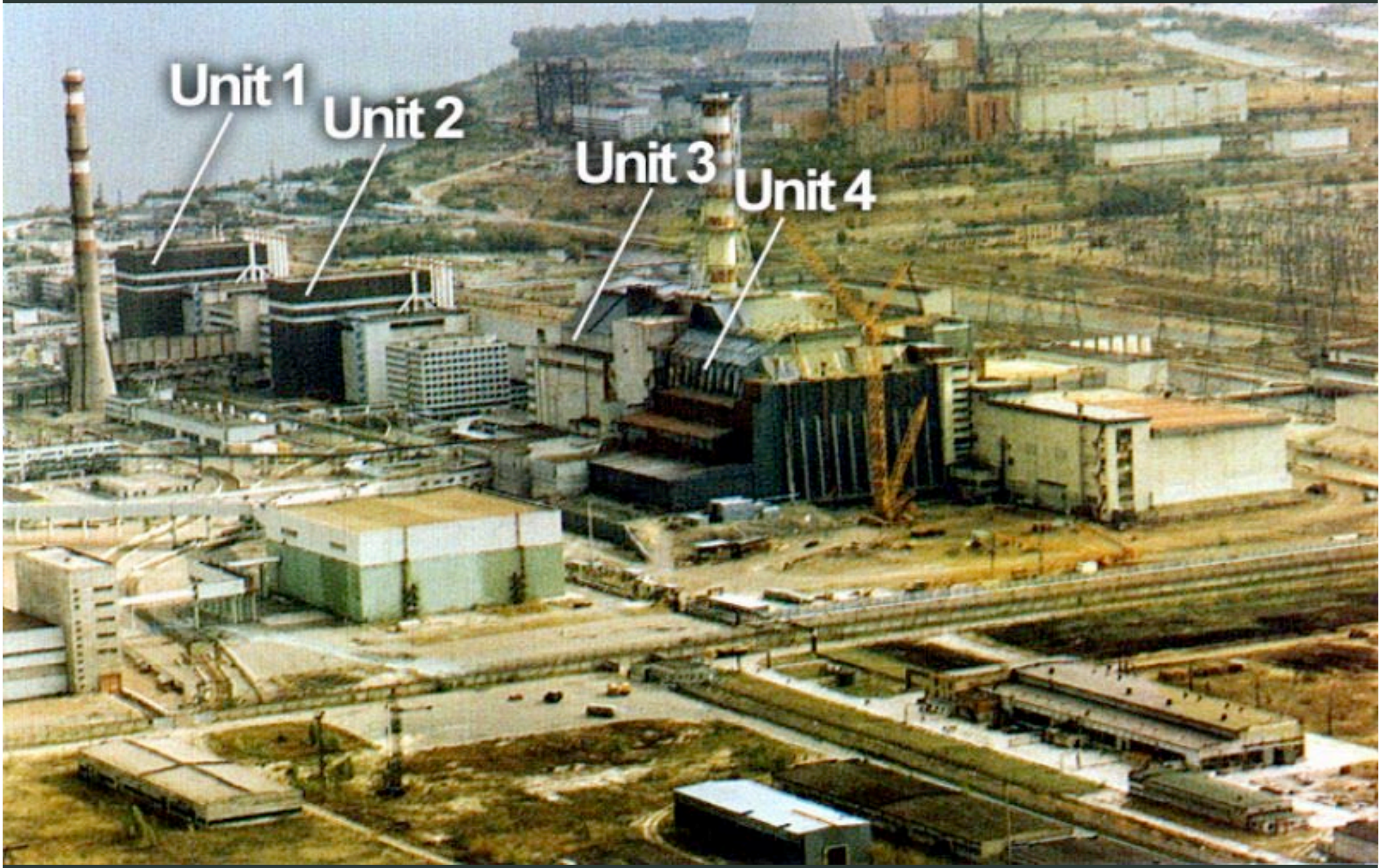
Chernobyl
26 aprile 1986

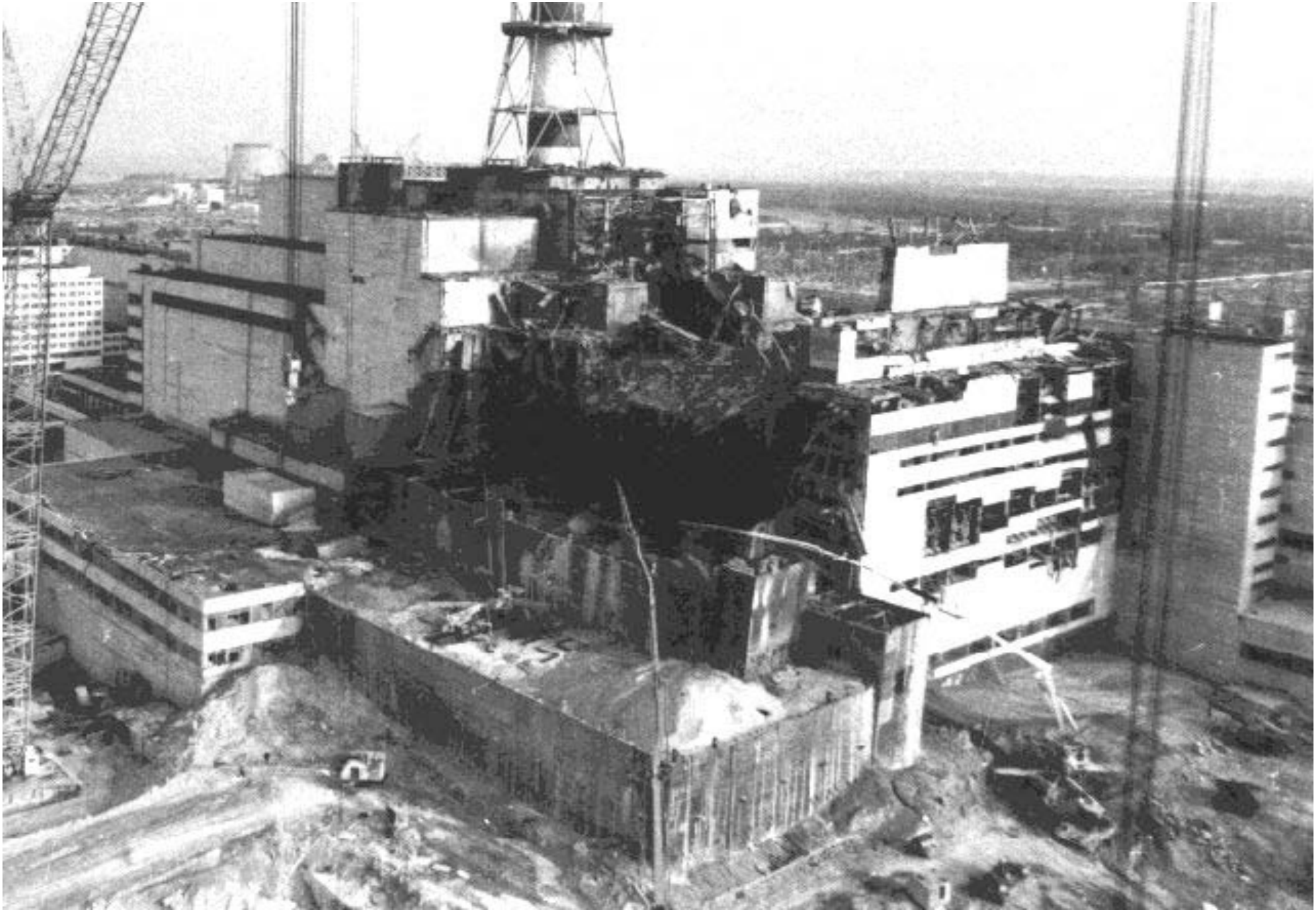

Unit 1
Unit 2
Unit 3
Unit 4

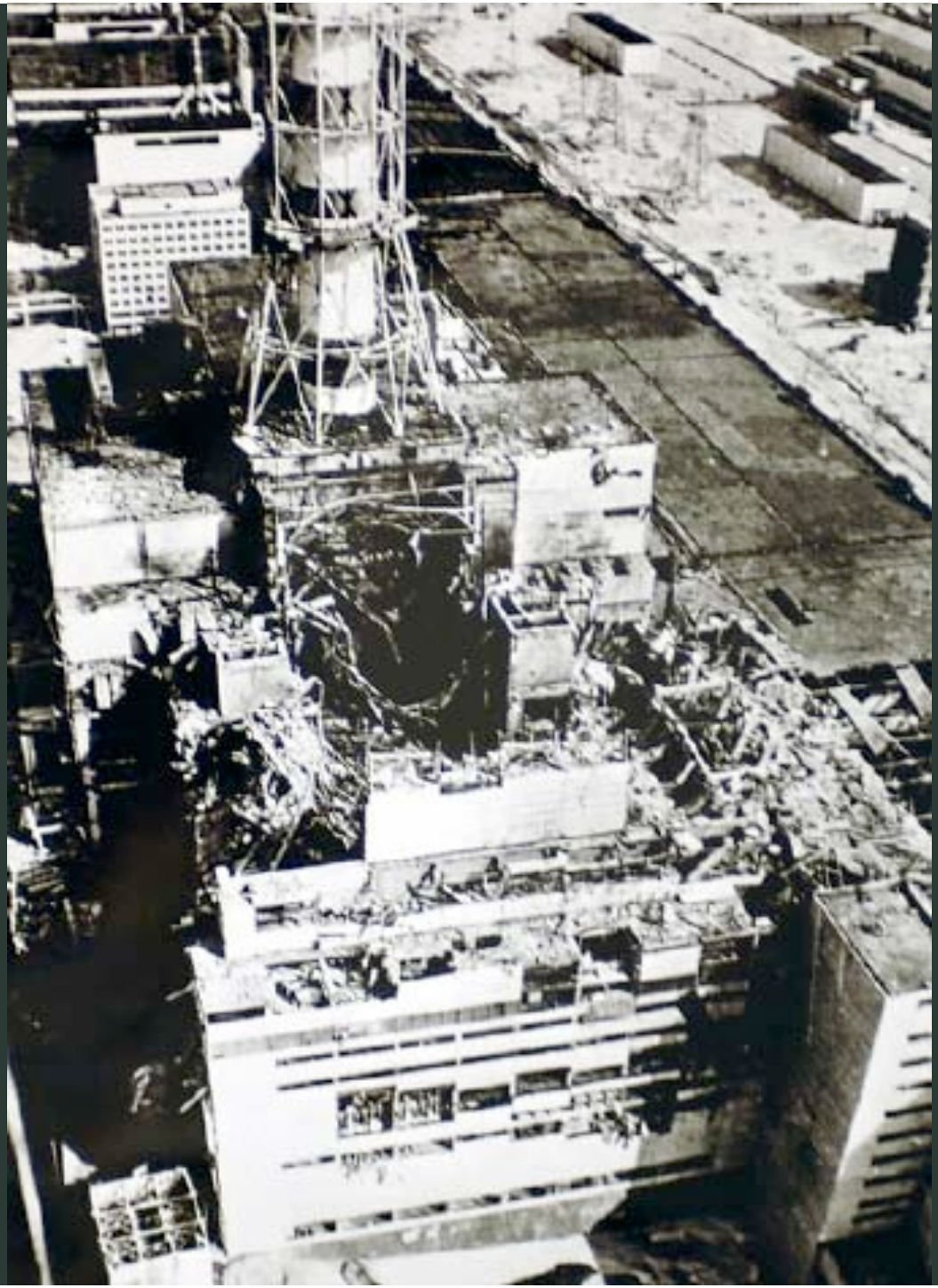
La centrale di Chernobyl

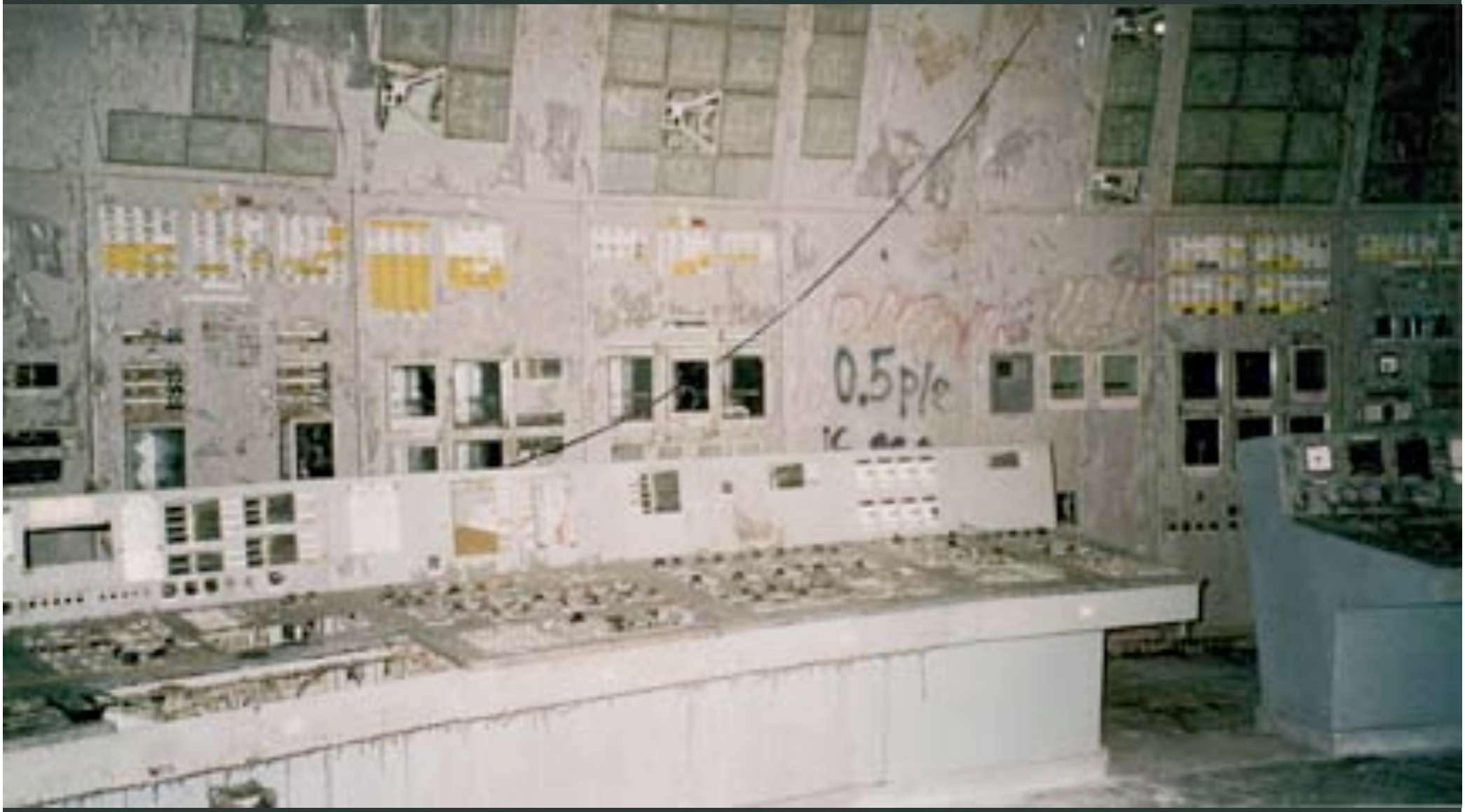
Sede: Pripyat, Ucraina a 16 km dal confine con la Bielorussia, 110 km nord di Kiev

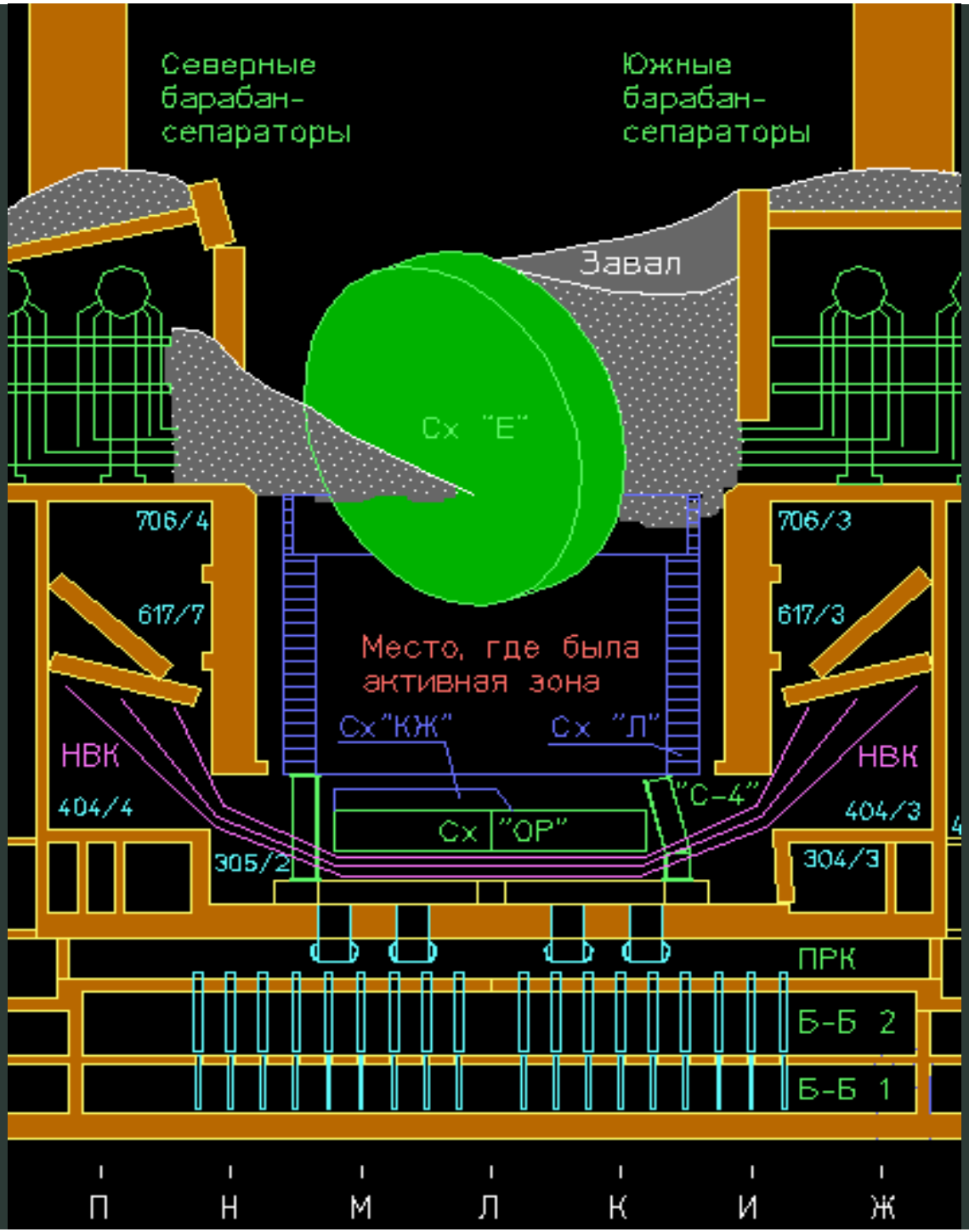
4 reattori RBMK (Reaktor Bol'shoi Moshchnosty Kanal'nyi) da 1GWe (3,2 GWt)

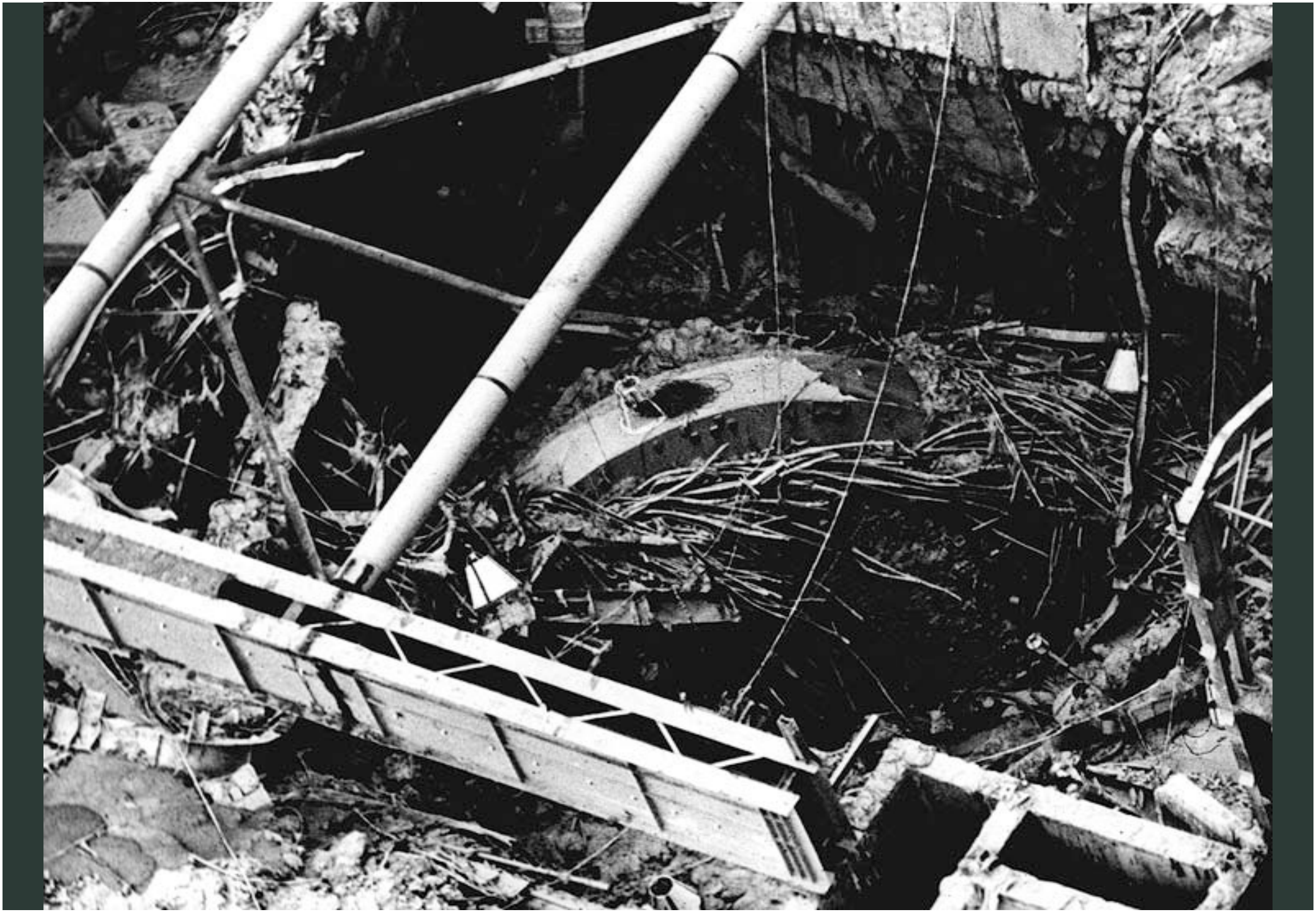
R1 1977, R2 1978, R3 1981, R4 1983,
R5 e R6 in costruzione






0.5p/e


Северные барабан-сепараторы
Южные барабан-сепараторы
Завал
Сх "Е"
706/4
706/3
617/7
617/3
Место, где была активная зона
Сх"КЖ"
Сх "Л"
НВК
НВК
404/4
404/3
"С-4"
Сх "ОР"
305/2
304/3
ПРК
Б-Б 2
Б-Б 1
П
Н
М
Л
К
И
Ж



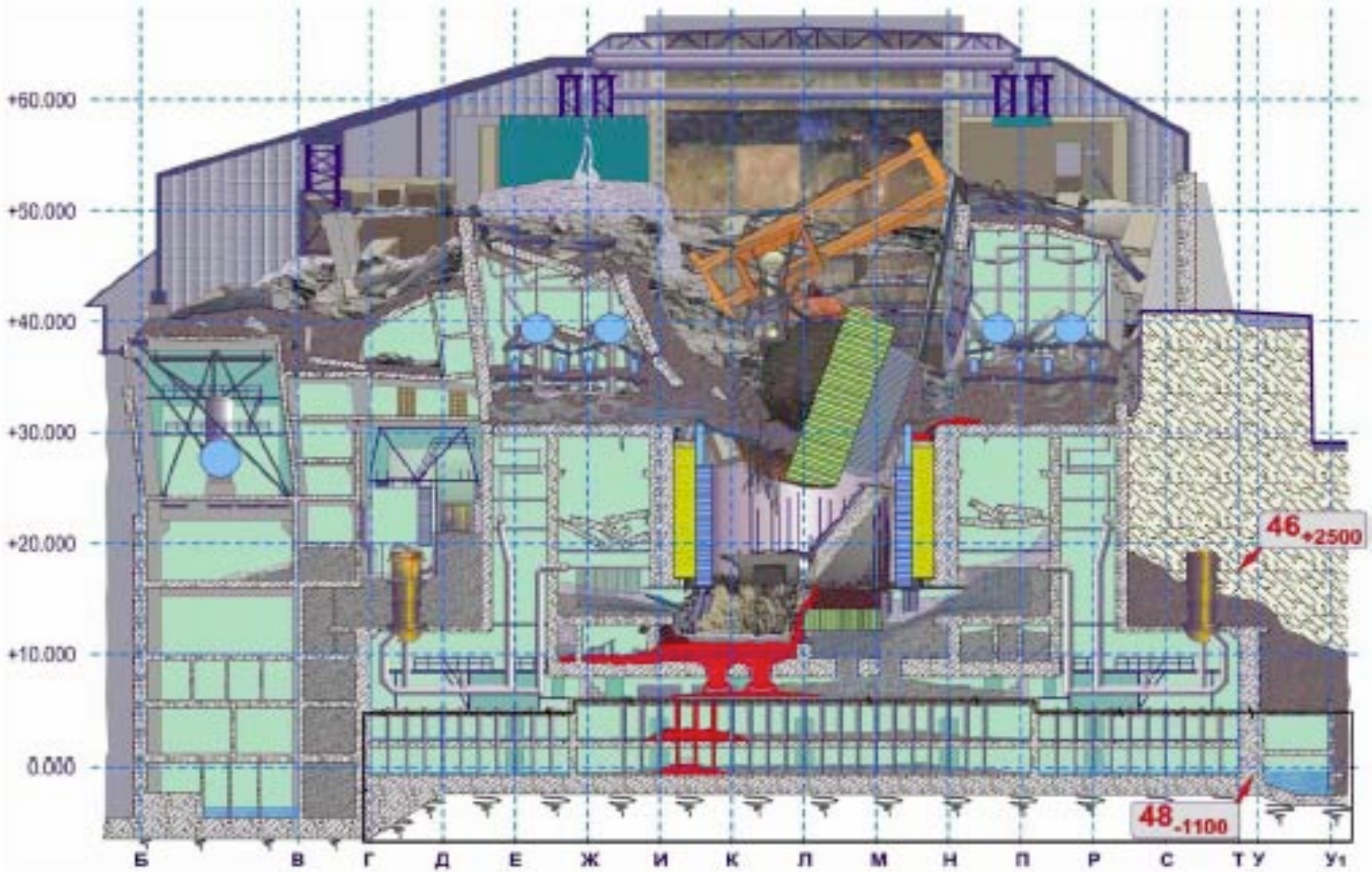
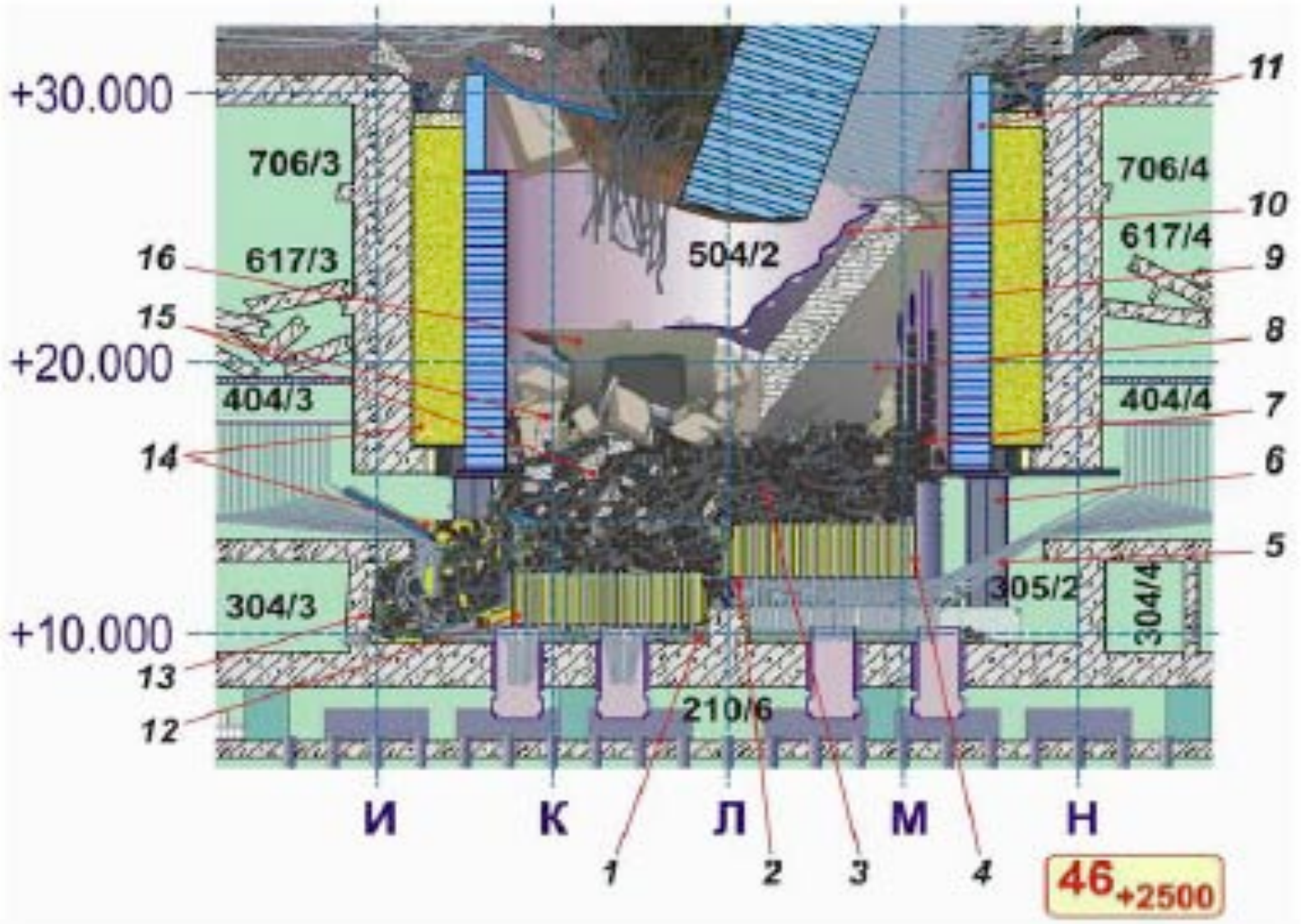


Figure 4. Sectional view of the Shelter (south-north). Solidified LFCM flows are indicated in red.



1 - Serpentinite of both "OR" component and the inter-compensatory gap
2 - Crushed "C" component ("Cross")
3 - Fuel, fuel assemblies, fuel elements, process channels, graphite blocks, fragmented concrete
4 - ¾ OR
5 - BWC tubes
6 - Additional support
7 - Reflector (channels and graphite blocks)
8 - Reinforced-concrete plate (fragments of wall of separator box)
9 - "L" tank
10 - Heat shielding lining of separator box's wall
11 - "D" tank
12 - ¾ OR
13 - Damaged wall
14 - Vault's filling-up-origin sand
15 - Debris of reinforced-concrete constructions
16 - Fragment of reinforced-concrete construction

Figure 8. Sectional view of reactor vault and room #305/2 half an hour after the explosion.

Primi interventi

La scala del disastro è stata esacerbata sia dall'impreparazione e incompetenza degli amministratori locali, sia dalla carenza di attrezzature adeguate.

I dosimetri presenti funzionanti erano limitati a 1mRoentgen/s: il personale sapeva solo che la radiazione era superiore a 4 Roentgen all'ora, mentre in realtà arrivava a 20.000 Roentgen all'ora.

Alexander Akimov ritiene intatto il reattore e rimane senza protezione dalle radiazioni a pompare acqua nel reattore fino alla mattina.
Il responsabile della sicurezze Vorobiev segnala alti tassi di radioattività
Anatoly Andreyevich Sitnikov, vice capo ingegnere dei reattori 1 e 2, segnala che il reattore è distrutto
Il direttore della centrale Viktor Bryukhanov e il capo ingegnere Nikolai Formin rifiutano l'evidenza del disastro nucleare e continuano a inviare a Mosca false informazioni

14 pompieri iniziano a spegnere gli incendi all'1:28; altre squadre continuano ad arrivare fino alle 4 del mattino, senza sapere delle radiazioni e senza protezioni

Alle 5 gli incendi sui tetti e nell'impianto sono spenti, ma i pompieri accumularono alte dosi di radiazione

Si rafforza l'incendio della grafite, contro il quale mancano sia esperienza che materiali di spegnimento

26 aprile ore 3: Bryukhanov a Mosca: situazione sotto controllo

26 aprile ore 6 il ministro per l'energia Anatoli Mayorets telefona al premier Nikolai I. Ryzhkov, che chiama Gorbaciov: rapporto che minimizza l'evento

Gorbaciov indice una riunione "d'urgenza" del Politburo per il 28 aprile

si muovono i militari

26 aprile ore 2:20 Il capo di stato maggiore, maresciallo Sergei F. Akhromeyev, viene informato della presenza di radiazioni;
dal centro di comando ordina al capo della difesa civile di attivare d'urgenza il reggimento di difesa civile nei pressi di Chernobyl, e invia l'unità speciale mobile per combattere incidenti nucleari;
ore 10 telefona a Gorbaciov: situazione grave

si muovono i civili

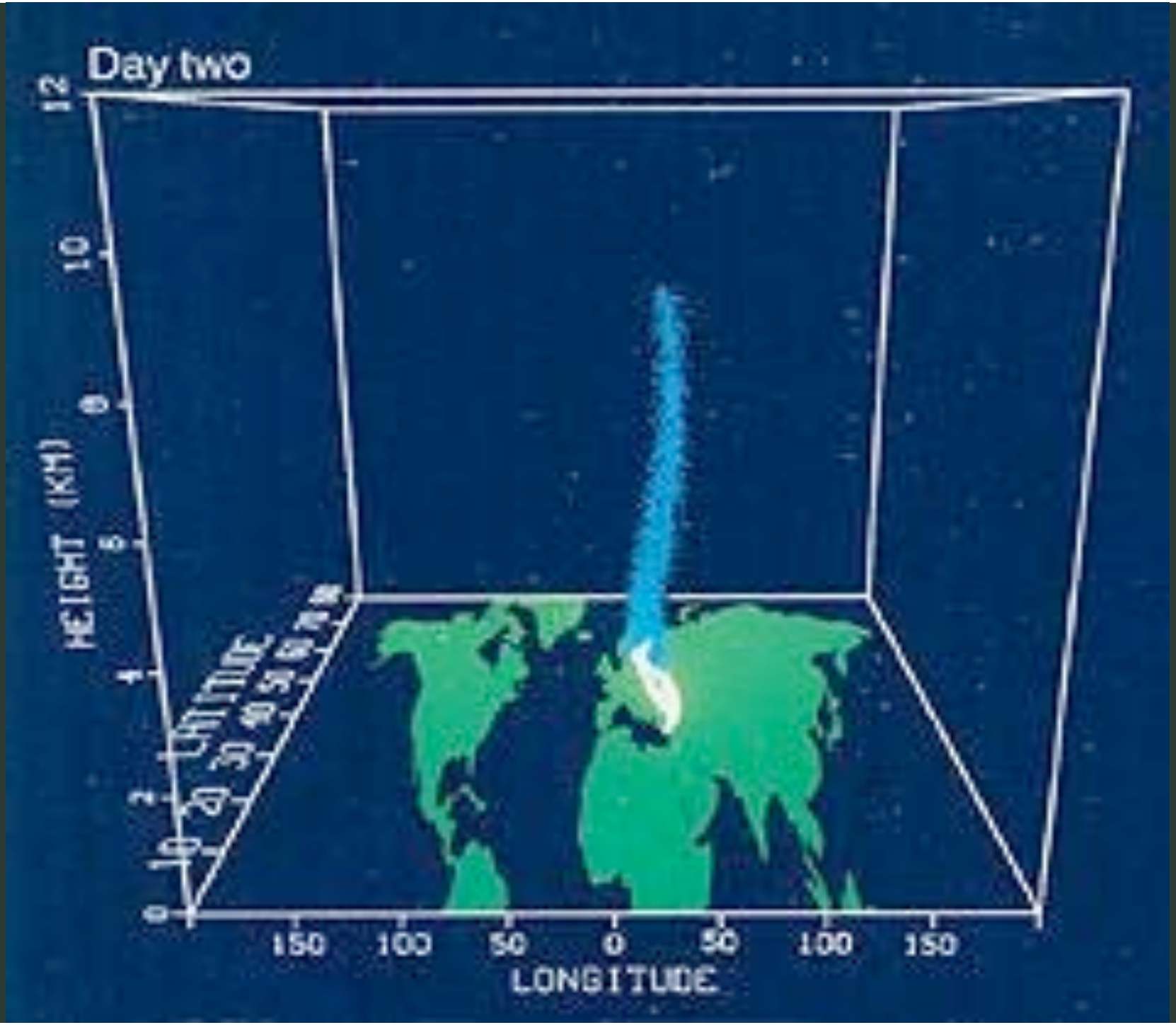
ore 9 giunge a Kiev un'unità operativa di esperti, guidata da Valery Legasov, direttore dell'Istituto Kurchatov ove era stato progettato il reattore.
A Chernobyl si rendono conto che il reattore era distrutto e della gravità dell'emissione radioattiva
A Mosca il premier Ryzhkov crea una commissione governativa diretta da Boris Y. Sherbina, vice presidente del Consiglio dei Ministri, con Yevgeny Velikhov, vice presidente dell'Accademia delle Scienze, come scienziato-capo.

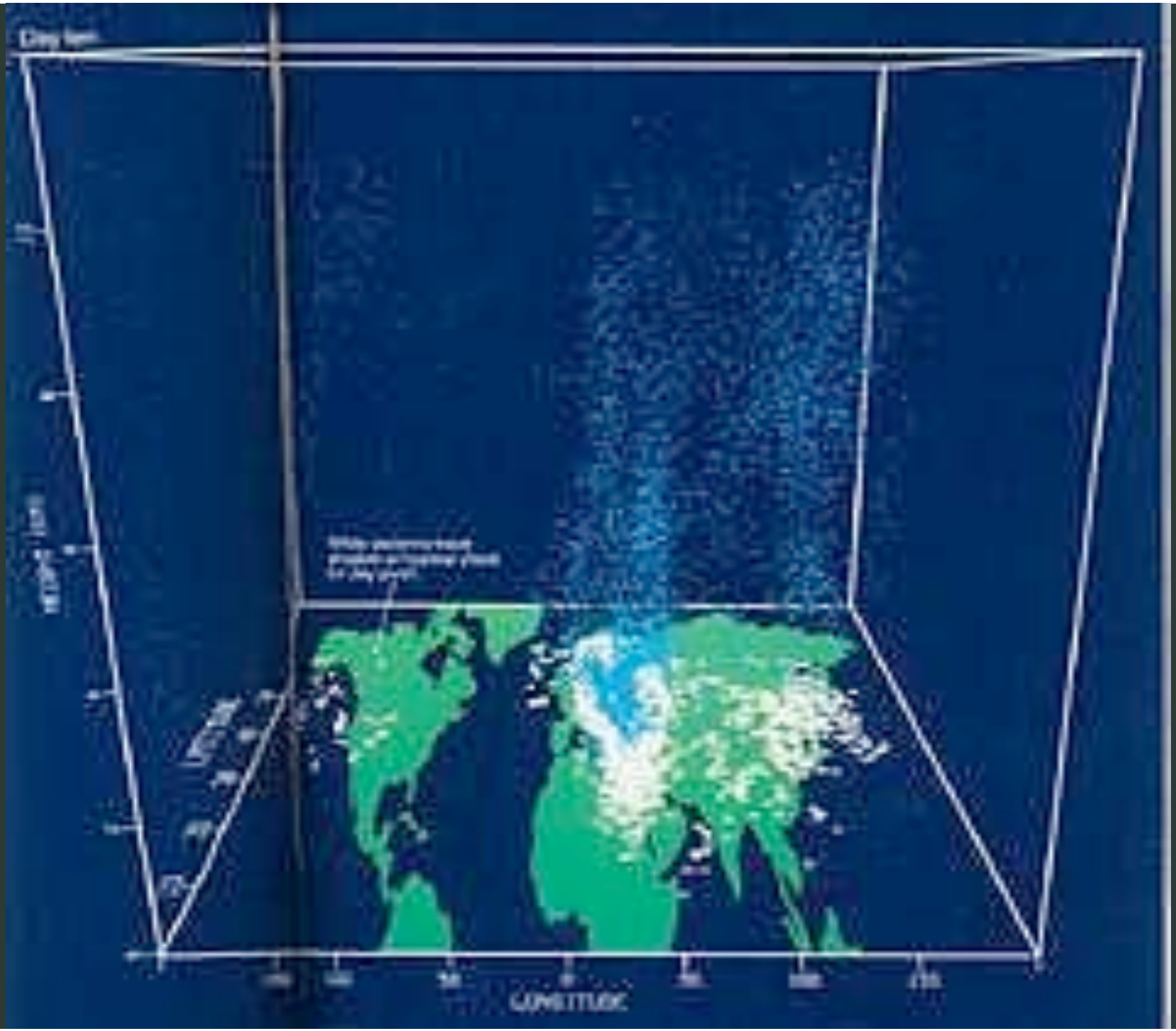
26 aprile ore 21: la commissione governativa arriva a Chernobyl; scienziati e tecnici devono combattere per far accettare dai politici e burocrati la realtà della situazione e la necessità di misure urgenti per la protezione della popolazione.

Sherbina è contrario all'evaquazione di Pripyat:
"il panico è peggio della radioattività"

Nella notte, 24 ore dopo l'esplosione, Sherbina si convince della distruzione del reattore e della contaminazione radioattiva e ordina l'evacuazione di Pripyat; per ridurre i bagagli, alla popolazione si dice che l'evacuazione sarebbe durata 3 giorni.

Ordina il bombardamento del reattore con sacchi di sabbia da elicotteri


Day two
HEIGHT (KM)
12
10
8
6
4
2
0
150
100
50
0
50
100
150
LONGITUDE

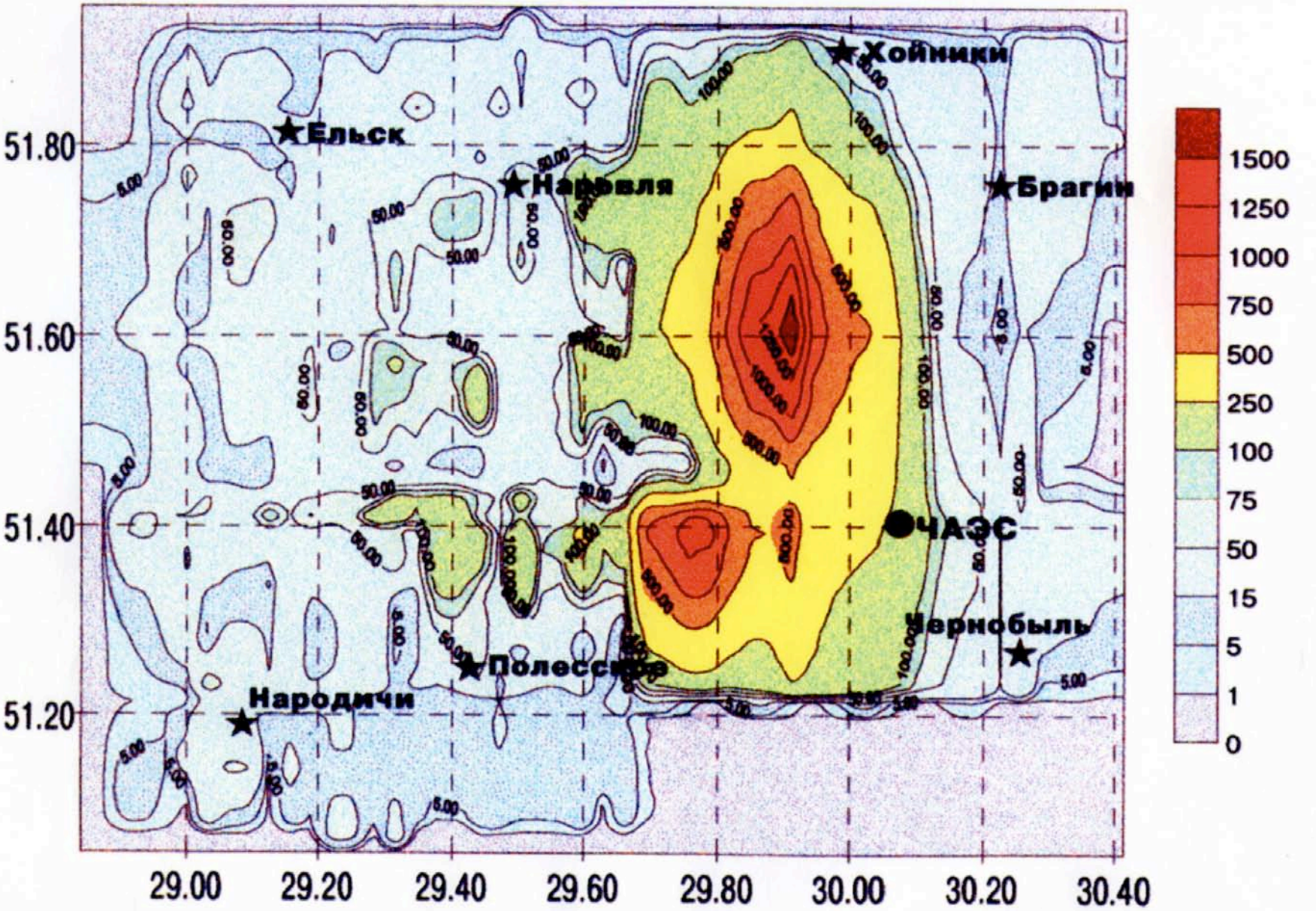


Radiazione emessa

fra il 5% e 20% quella presente nel reattore
400 volte quella di Hiroshima
1000 volte meno degli esperimenti atomici

kripton e xenon emessi come gas
iodio come vapore e particelle solide
cesio e tellurio come aerosol

tempi di dimezzamento
iodio-131 8 giorni
stronzio-90 e cesio-137 circa 30 anni



Распределение плотности поверхностной активности Ru103
в районе ЧАЭС (Ки/кв.км).
Данные приведены на 01 июня 1986 года.

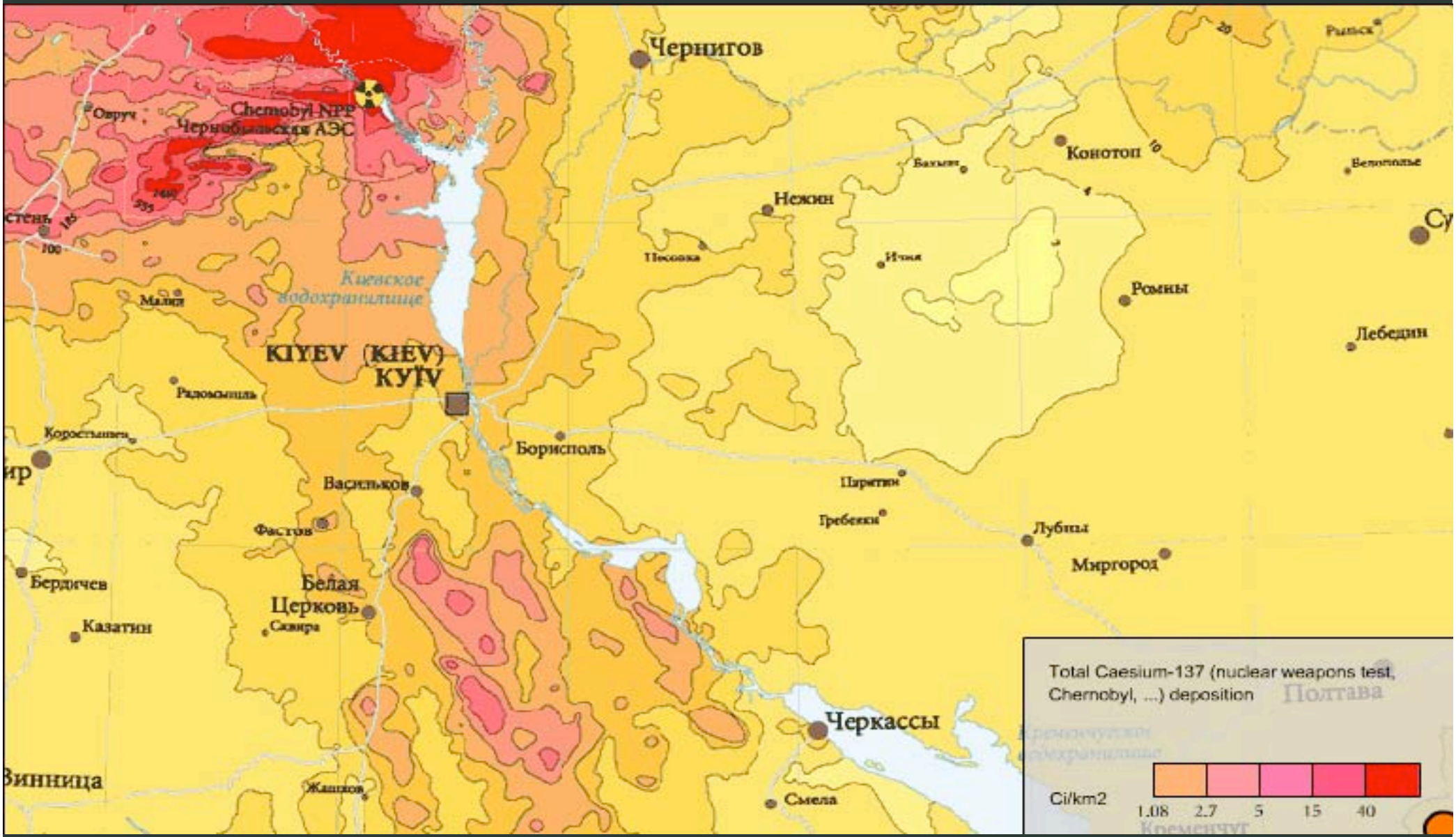
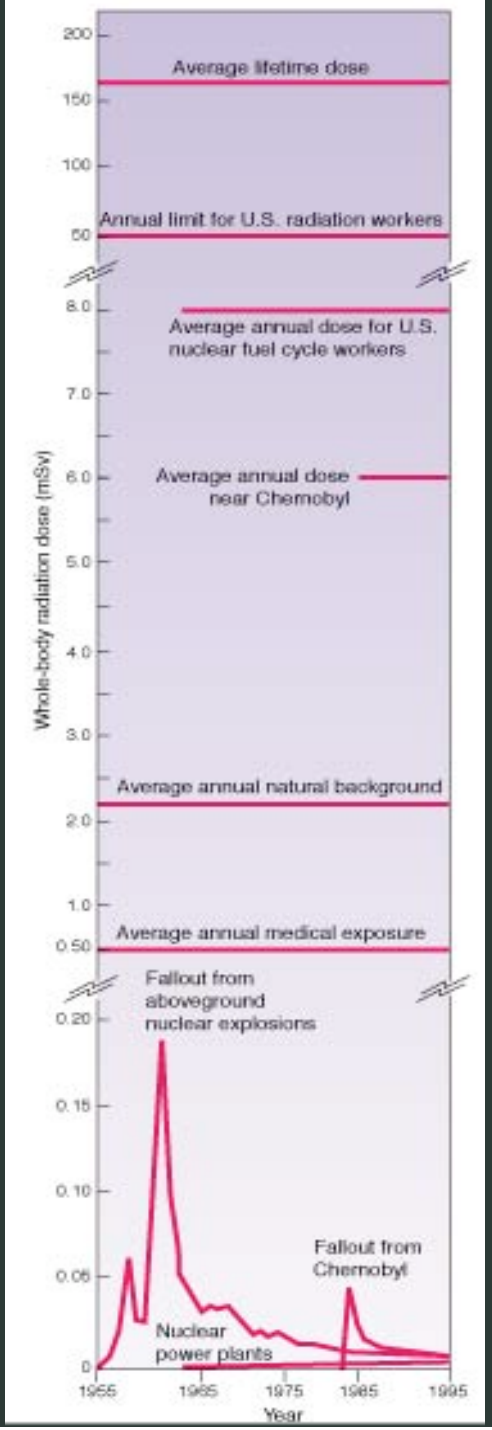

Чернигов
Chernobyl NPP
Чернобыльская АЭС
Овруч
Конотоп
Нежин
Ромны
Лебедин
Киевское водохранилище
KIYEV (KIEV)
КИЇВ
Борисполь
Васильков
Фастов
Белая Церковь
Бердичев
Казатин
Черкассы
Смела
Миргород
Лубны
Total Caesium-137 (nuclear weapons test, Chernobyl, ...) deposition
Ci/km2
1.08
2.7
5
15
40

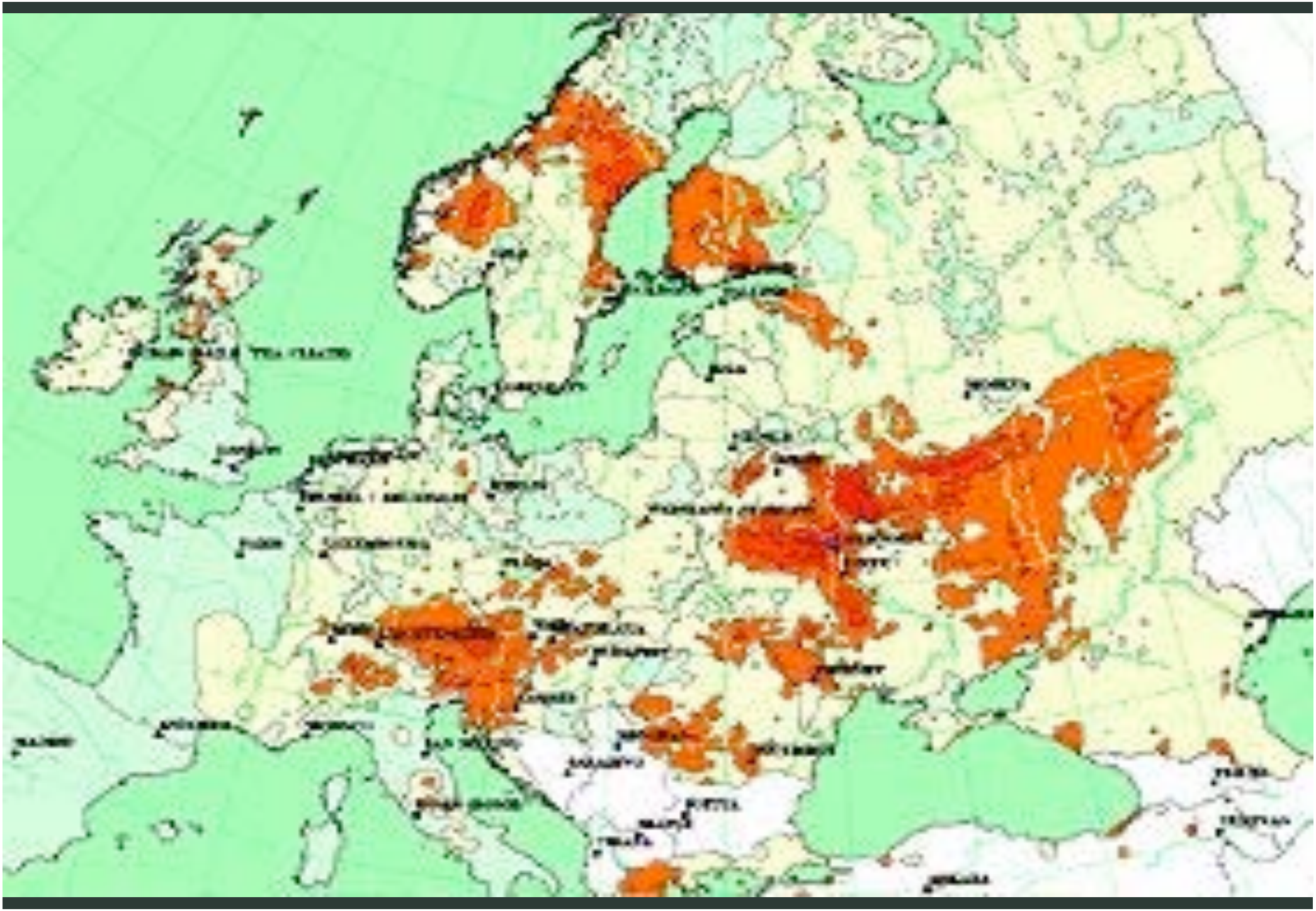
Figure 31. Radiation Hotspots Resulting From the Chornobyl' Nuclear Power Plant Accident


Average lifetime dose
Annual limit for U.S. radiation workers
Average annual dose for U.S. nuclear fuel cycle workers
Average annual dose near Chernobyl
Average annual natural background
Average annual medical exposure
Fallout from aboveground nuclear explosions
Fallout from Chernobyl
Nuclear power plants
Whole-body radiation dose (mSv)
200
150
100
50
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.50
0.20
0.15
0.10
0.05
0
1955
1965
1975
1985
1995
Year

Dal 27 aprile si lanciano sulla grafite grandi quantità di materiali differenti:
- composti di boro che assorbono neutroni per prevenire il ristabilirsi di una reazione a catena,
- dolomia per controllare il fuoco, piombo per bloccare le radiazioni,
- sabbia e argilla per impedire la dispersione di particolato.
Durante la prima settimana vengono lanciate 5 000 tonnellate di materiali nel corso di 1 800 operazioni di elicotteri in volo.

-27 aprile pomeriggio la nube radioattiva rivelata a Helsinki
- 28 aprile mattina la nube radioattiva rivelata in Svezia, a Forsmark (a circa 1100 km da Chernobyl): grave incidente in una regione occidentale dell'Unione Sovietica

~ individuazione del sito da immagini raccolte dal satellite Landsat 5 passato su Chernobyl prima e immediatamente dopo il disastro
~ informazioni precise dal satellite SPOT 4 a partire dal 29 aprile



A
B
C

29 aprile si riunisce il Politburo per esaminare il rapporto della commissione, che dà una descrizione completa e reale del disastro; si autorizza la commissione a intensificare le operazioni di bonifica e a indagare sulle cause del disastro.

29 aprile l'ambasciatore americano presenta l'offerta di Reagan a Gorbaciov di assistenza medica e tecnica; l'offerta venne declinata, forse per motivi di orgoglio nazionale

I materiali del nocciolo continuano a produrre energia per l'altissima radioattività e fondono in una specie di lava che si raccoglie sotto la grafite mantenendo un'altissima temperatura;

la massa altamente radioattiva 8 giorni dopo l'incidente buca il pavimento dello schermo biologico e scende fino al fondo dell'edificio, aumentando l'emissione di radionuclidi.

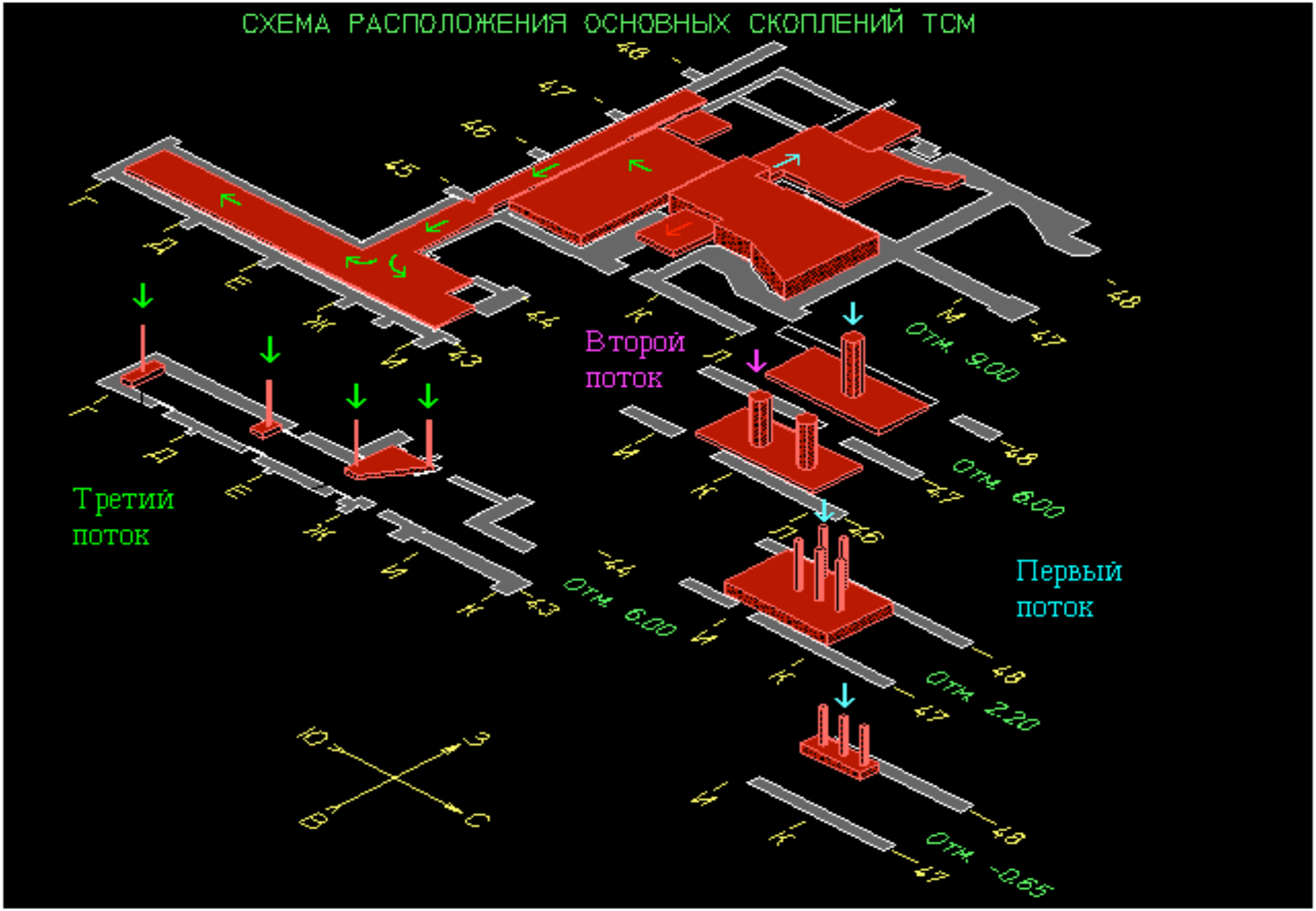


СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ СКОПЛЕНИЙ ТСМ
Второй поток
Третий поток
Первый поток
Отм. 9.00
Отм. 6.00
Отм. 6.00
Отм. 2.20
Отм. -0.65
Ю
З
В
С

L'acqua pompata per spegnere il fuoco si era raccolta in basso dove sta arrivando la massa fusa del reattore e dei detriti: entrando in contatto con l'acqua si sarebbe prodotta un'enorme quantità di vapore e quindi un'esplosione ancora maggiore di quella originaria con una terribile dispersione di materiale altamente radioattivo.
Due "liquidatori" con vesti impermeabili vanno a scaricare l'acqua: salvano milioni ma non tornano

БОТАТЬ
ДЕСЬ

Il 2 maggio la commissione governativa decide di evacuare tutti i residenti in un raggio di 30 km attorno all'impianto:
90 000 persone da 170 fra cittadine e villaggi.

Il 9 maggio l'incendio della grafite era spento e si iniziò la costruzione di una base di cemento armato con un sistema di raffreddamento sotto il reattore, sia per ridurre la temperatura del materiale fuso che per impedire al reattore di penetrare nel terreno e contaminare la falda acquifera.
II lavoro venne completato in 15 giorni da 4000 operai.

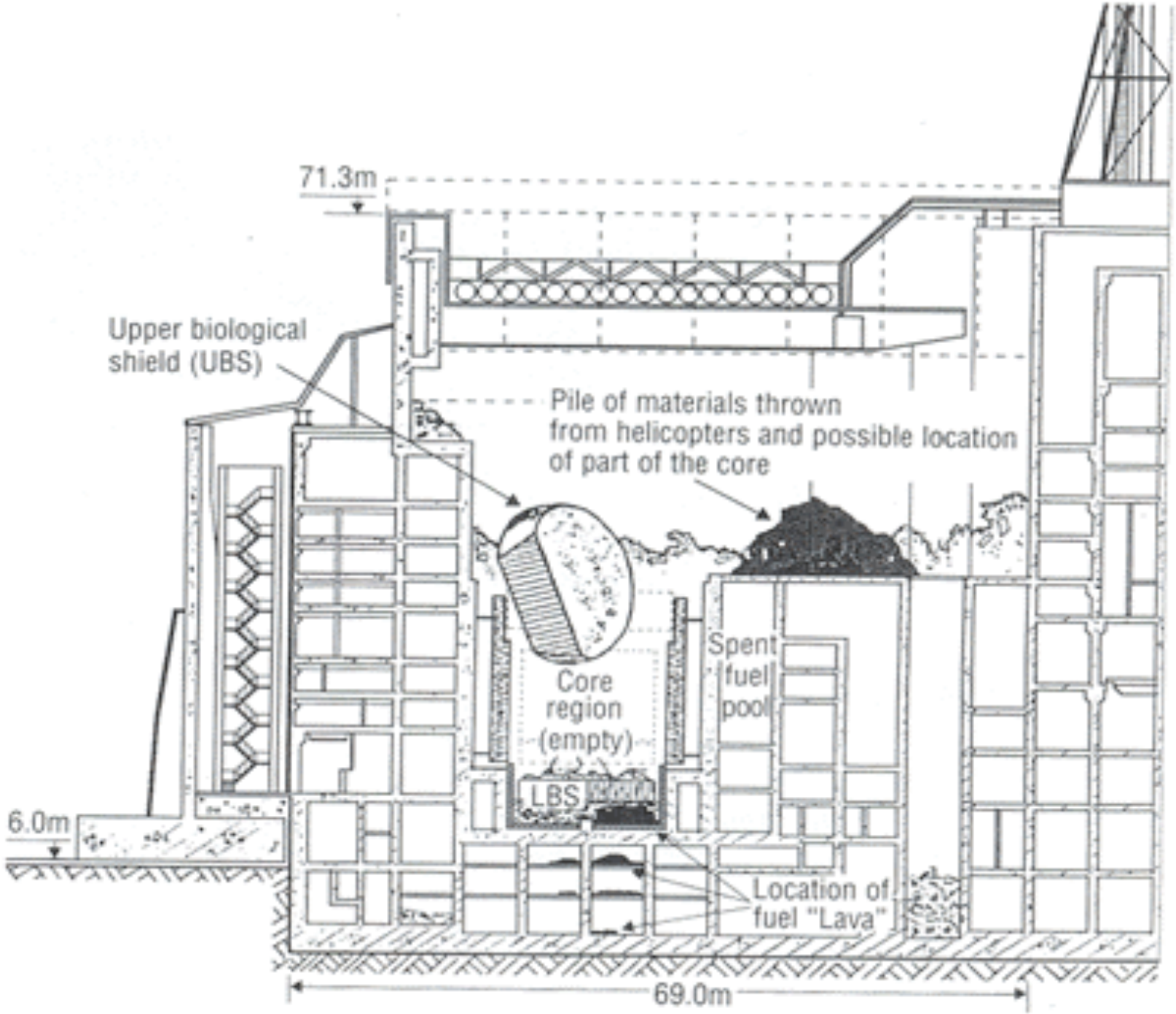
Circa 350 000 “liquidatori” militari e civili, provenienti da tutta l’Unione Sovietica, hanno lavorato a Chernobyl nel periodo 1986-87 a bonificare la zona bandita di 30 km di raggio; altri 250 000 continuarono il lavoro negli anni successivi; centinaia di enormi “cimiteri” di elicotteri e macchinari vari contaminati rimangono nelle vicinanze dell’impianto, definitivamente abbandonato nel 2000.

Rassohka, the biggest storage point for contaminated trucks & helicopters, from Chernobyl.
0.96.07.02.24 DEC 1995
CHERNOBYL UKRAINE D
© Greenpeace/Shirley

Dei 240 000 liquidatori impegnati nella fase più critica circa 20 000 hanno ricevuto dosi di 250 mSv

alcuni più esposti hanno subito dosi fino a 500 mSv,

per gli altri la dose media è stata di 165 mSv


71.3m
Upper biological shield (UBS)
Pile of materials thrown from helicopters and possible location of part of the core
Spent fuel pool
Core region (empty)
LBS
6.0m
Location of fuel "Lava"
69.0m

Dopo l'incidente:

- Strato di 200 m di cemento attorno al reattore 4 per continuare a operare gli altri 3 reattori
- Nel 1991 incendio nel reattore 2 con danni irreparabili - viene spento
- Novembre 1996 viene spento il reattore 1 in seguito ad accordo con l'IAEA
- Novembre 2000 viene spento anche il reattore 3 e chiuso l'impianto

Reactor 4 Chernobyl NPS. Covered with Sarcophagus since accident in 1986.
0.96.07.02.17 DEC 1995
CHERNOBYL UKRAINE D
© Greenpeace/Shirley

Glavlit e glasnost

- 28 aprile mattina discussione al Politburo
- 28 aprile ore 20 Radio Mosca dispaccio della TASS
- 28 aprile ore 21 il messaggio ripetuto in inglese
- 29 sera la trasmissione televisiva Vremya: morte 2 persone e Pripyat evacquata
- 30 aprile Shevardnadze incontro con gli ambasciatori stranieri
- 1 maggio Vremya: nessun straniero coinvolto

ВИМАГАЄМО
ЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ
НЮРНБЕРГ!

- 4 maggio Vremya: prime immagini riprese da un elicottero
- 6 maggio primo rapporto sulla Pravda
- 9 maggio Pravda Ukrainy: raccomandazioni su come proteggersi dagli effetti della radiazione
- 10 maggio conferenza stampa di Hans Blix dopo il suo sopralluogo a Chernobyl
- 12 maggio Izvestiya: evacuate 92 000 persone e dati sui livelli di radiazione
-14 maggio messaggio televisivo di Gorbaciov

Disastro a molte facce:

- sanitario
- ambientale
- economico
- sociale

Health effects

WHO / IAEA / UNDP report

- 50 emergency workers died of acute radiation syndrome and nine children died of thyroid cancer
- an estimated total of 3940 deaths from radiation-induced cancer and leukemia among
~ the 200 000 emergency workers,
~ 116 000 evacuees and
~ 270 000 residents of the most contaminated areas

Health effects

WHO/IAEA/UNDP report

- about 4 000 cases of thyroid cancer, mainly in children and adolescents at the time of the accident; however the survival rate, has been almost 99%

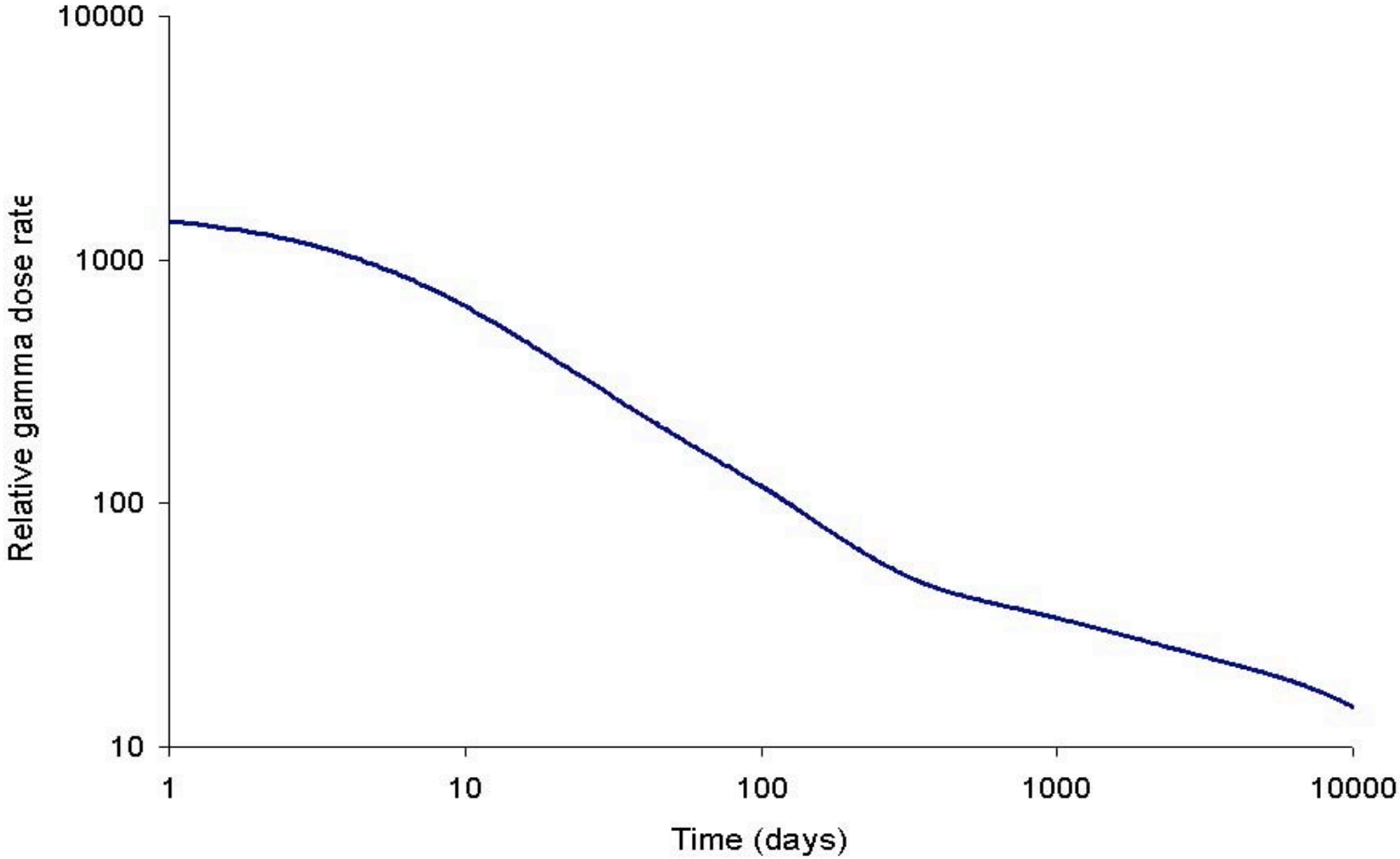
- no evidence or likelihood of decreased fertility nor any evidence of increases in congenital malformations

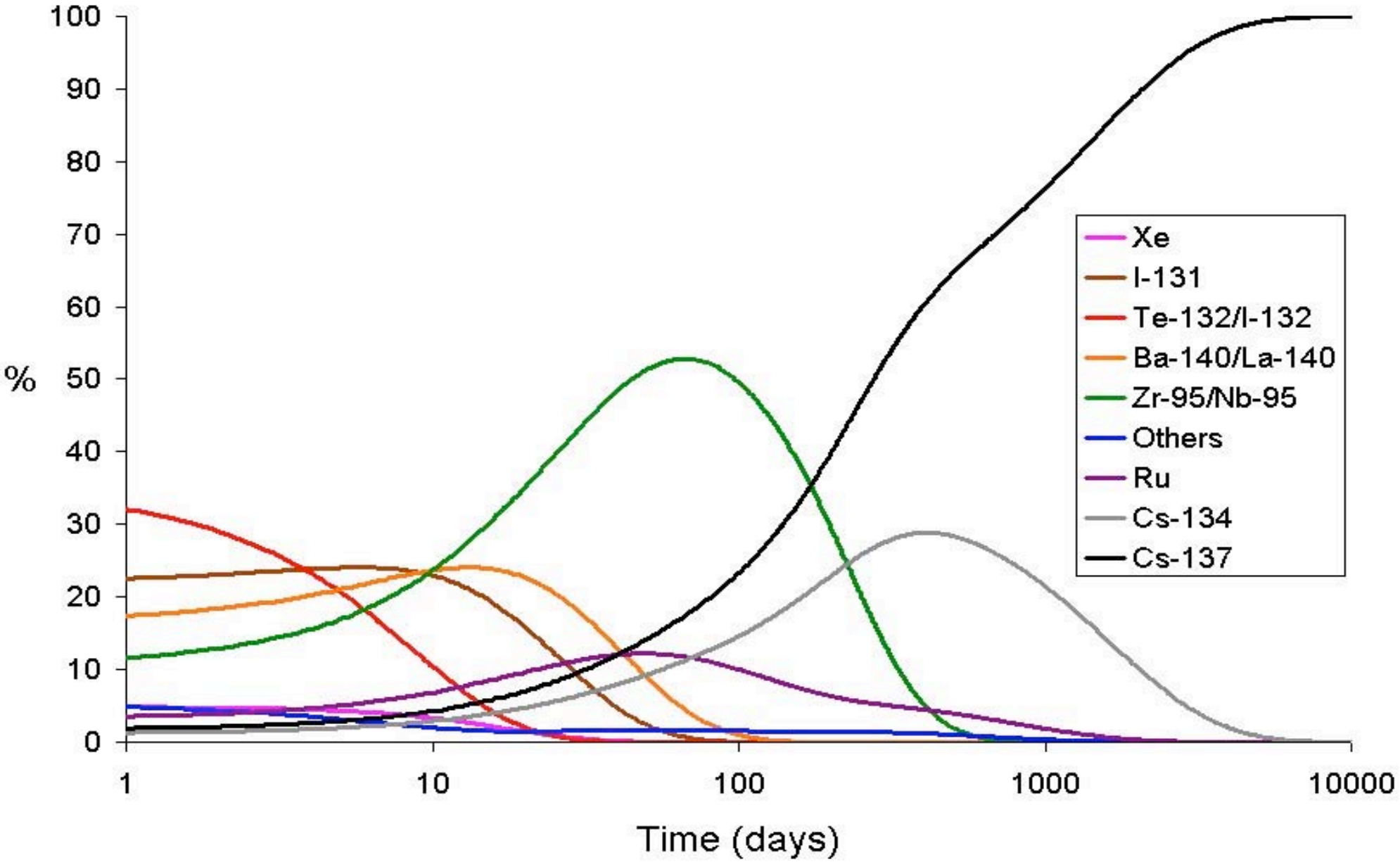
Conseguenze sanitarie

Dick Garwin

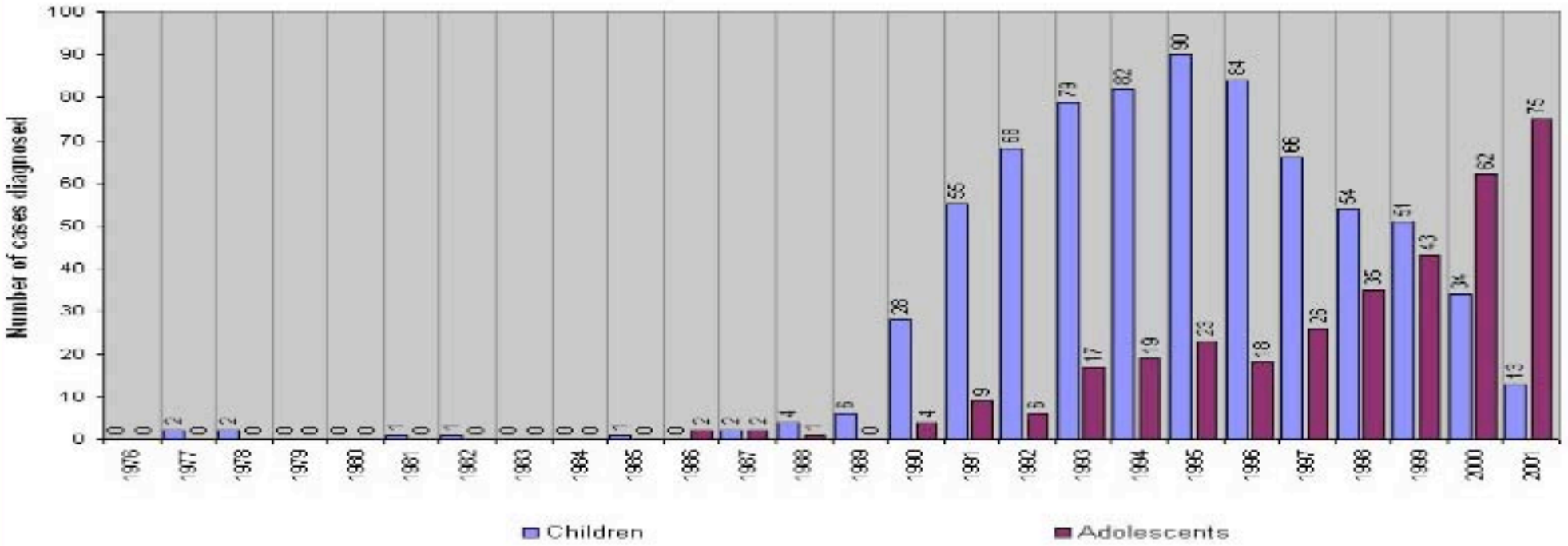
la contaminazione collettiva per le persone ad alta irradiazione è stata di 60 000 Sv-uomo e giustifica la previsione di 4 000 morti per cancro nel corso degli anni

la contaminazione collettiva per tutte le persone esposte in tutto il mondo è di 600 000 Sv-uomo, che comporta in tutto 24 000 decessi per cancro

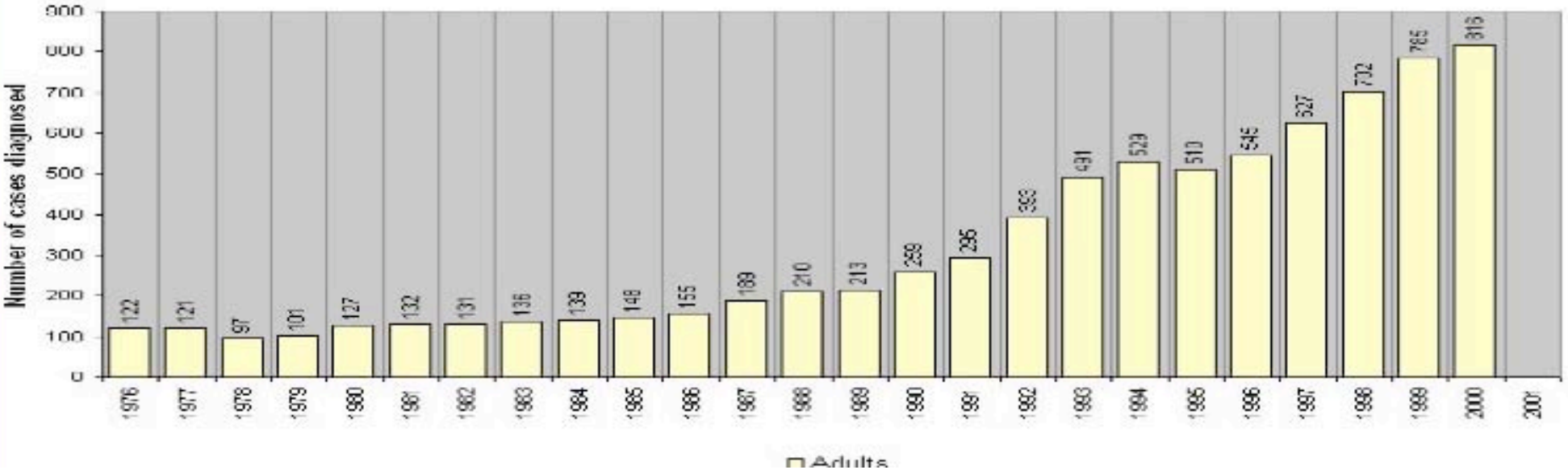

10000
1000
100
10
Relative gamma dose rate
1
10
100
1000
10000
Time (days)


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
%
1
10
100
1000
10000
Time (days)
Xe
I-131
Te-132/I-132
Ba-140/La-140
Zr-95/Nb-95
Others
Ru
Cs-134
Cs-137

Cancer of the thyroid in children and adolescents



Cancer of the thyroid in adults



Sociologic effects

WHO / IAEA / UNDP report

Poverty, "lifestyle" diseases now rampant in the former Soviet Union and mental health problems pose a far greater threat to local communities than does radiation exposure

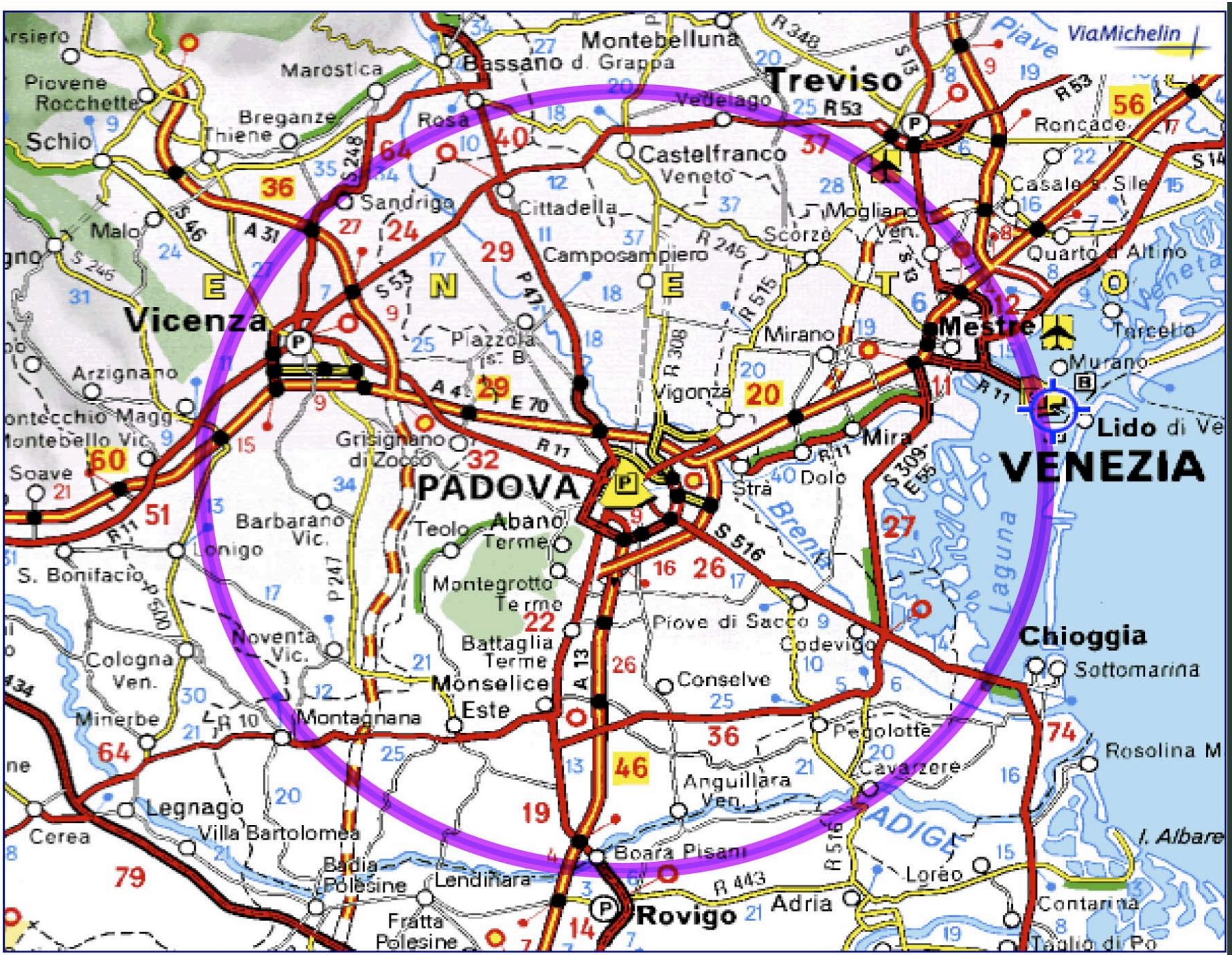
Relocation proved a "deeply traumatic experience" for some 350 000 people moved out of the affected areas

Persistent myths and misperceptions about the threat of radiation have resulted in "paralyzing fatalism"

Zones of contamination in Belarus, Russsia and Ukraine

Contamination density by Cs-137 (Ci/km²)	Offical designation of zones		
	Belarus	**Russia**	**Ukraine**
1 - 5	Periodic radiation monitoring	Privileged socioeconomic status	Zone of enhanced radiological control
5 - 15	Zone with the right to resettle	Right to resettle (if dose > 1 mSv/year)	Zone of guaranteed resettlement
15 - 40	Zone of secondary resettlement	Madatory resettlement (if Cs-137 > 40 Ci/km² or dose > 5 mSv/year). Voluntary if below	Zone of obligatory resettlement
> 40	Zone of priority resettlement		
Territories adjacent to the Chernobyl NPP (including the 30 -km zone). Population evacuated 1986-1987	Zone of evacuation (exclusion zone)	Resettlement zone (exclusion zone)	Exclusion zone

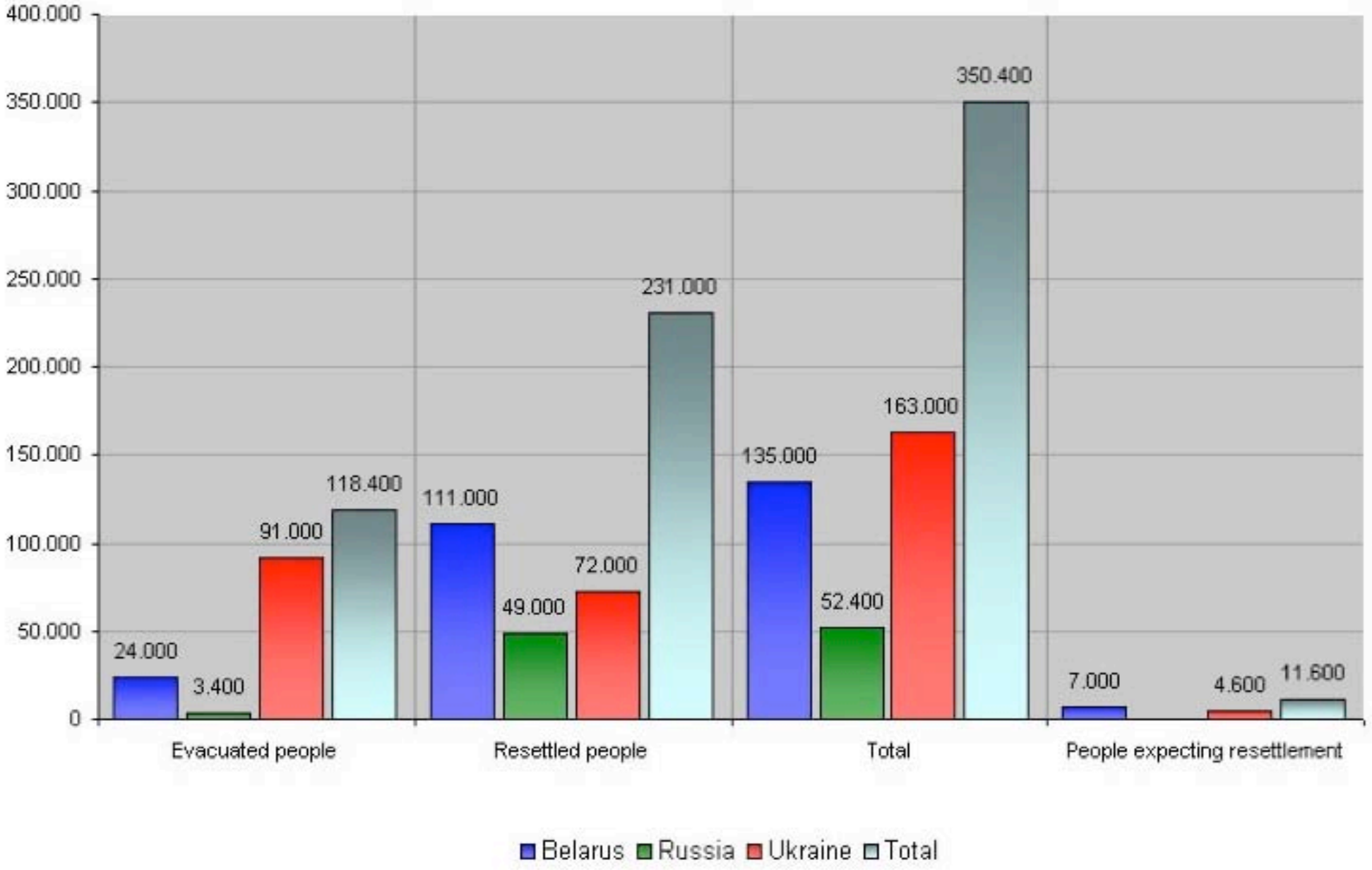
Source: UNDP, 2002



10 km

© Michelin 2005

Evacuated and resettled people

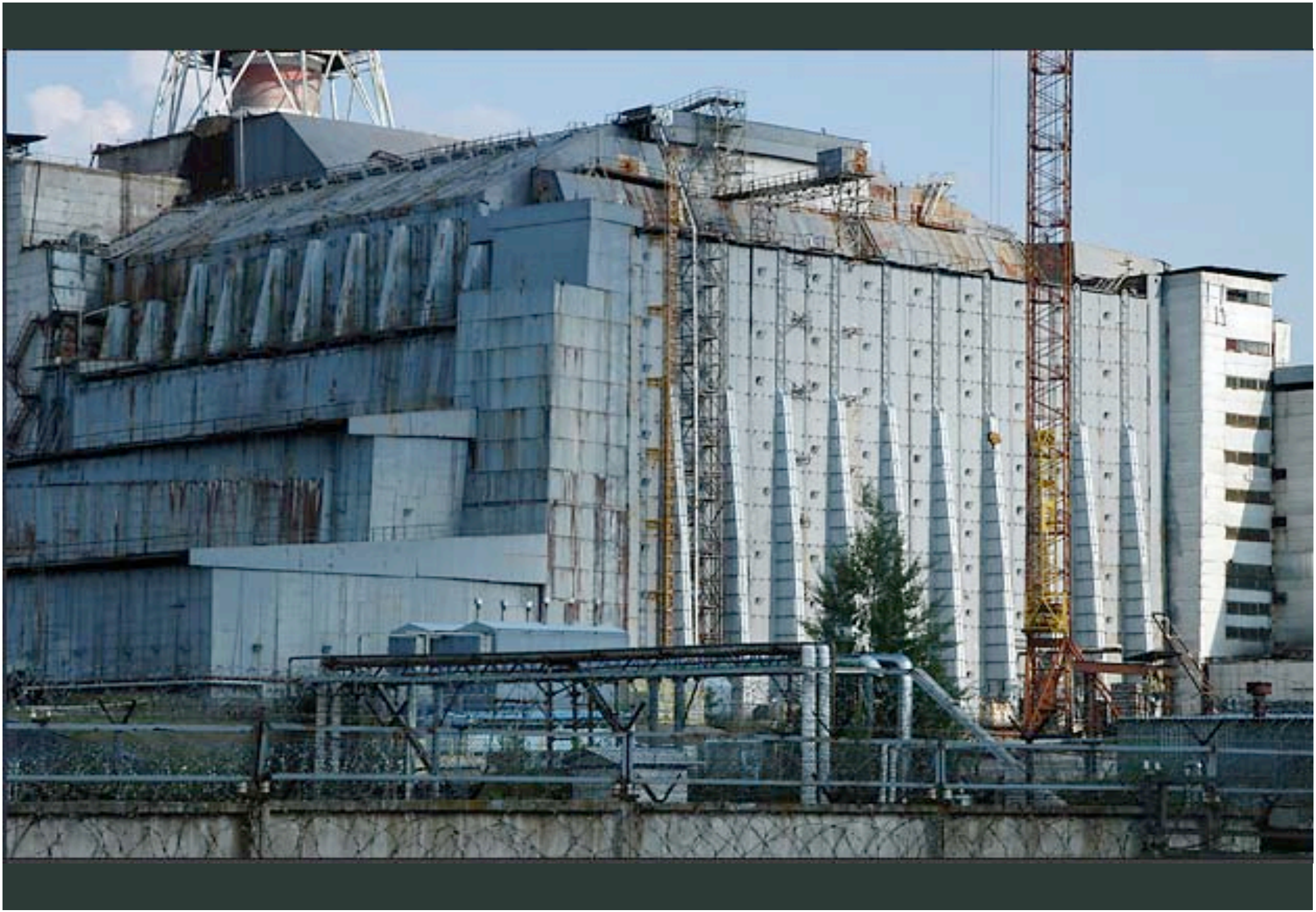


Entrance sign to city of Pripyat. Chernobyl nuclear power station behind. Ukraine.
0.96.07.02.13 DEC 1995
CHERNOBYL UKRAINE D
© Greenpeace/Shirley

The deserted city of Pripyat, Chernobyl nuclear power plant in the background. Ukraine.
0.96.07.01.04 DEC 1995
CHERNOBYL UKRAINE D
© Greenpeace/Shirley

Disastro economico:

- 784 320 ettari tolti all'agricoltura
- 694 200 ettari tolti alla silvicoltura
- 4 reattori dismessi
- danni in Bielorussia 43,3 G$
- danni in Ucraina 201 G$
- danni in Russia 3,8 G$
- fuga dagli investimenti

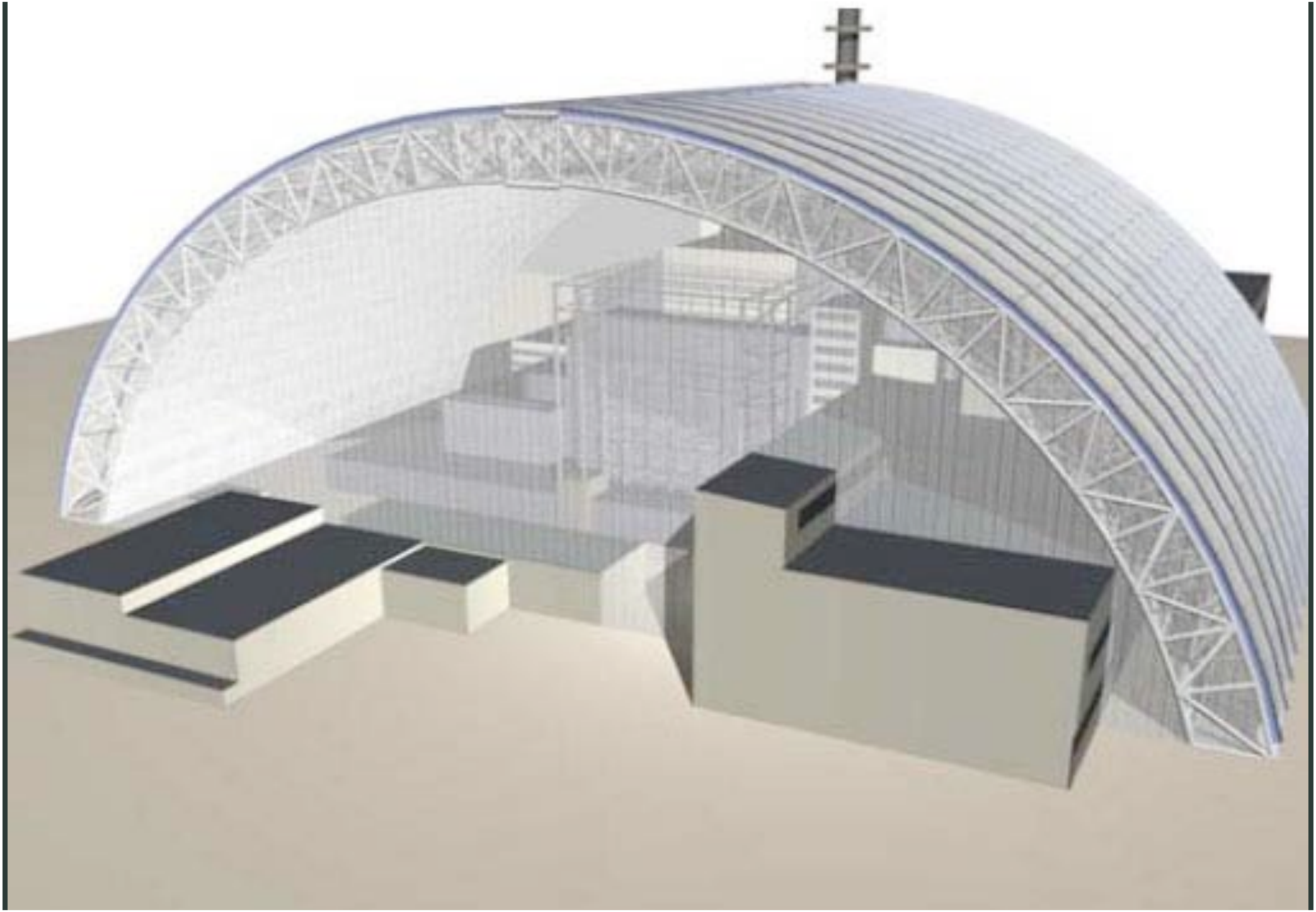


Sarcophagus

WHO/IAEA/UNDP report

Structural elements of the sarcophagus built to contain the damaged reactor have degraded, posing a risk of collapse and the release of radioactive dust

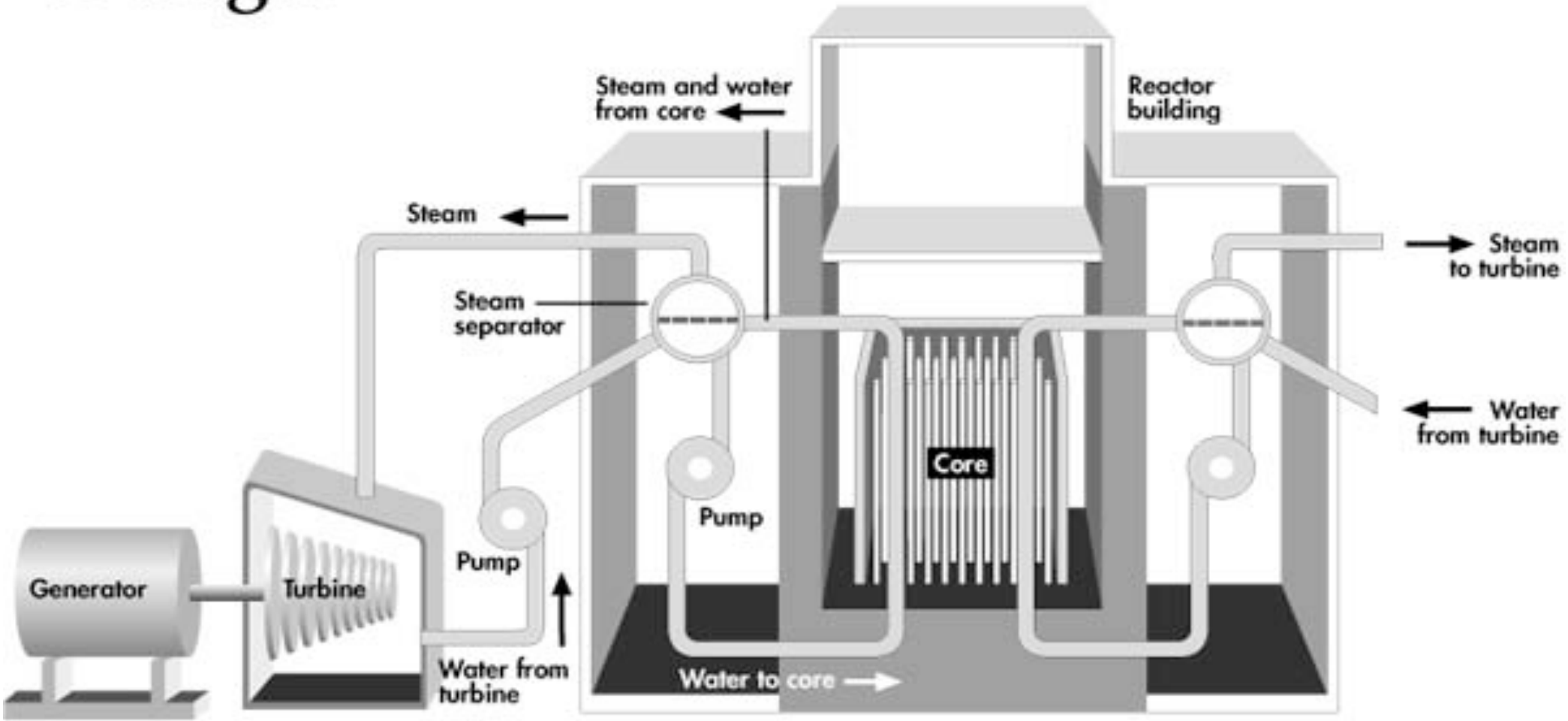
A comprehensive plan to dispose of tons of high-level radioactive waste, has yet to be defined.



reattori RBMK

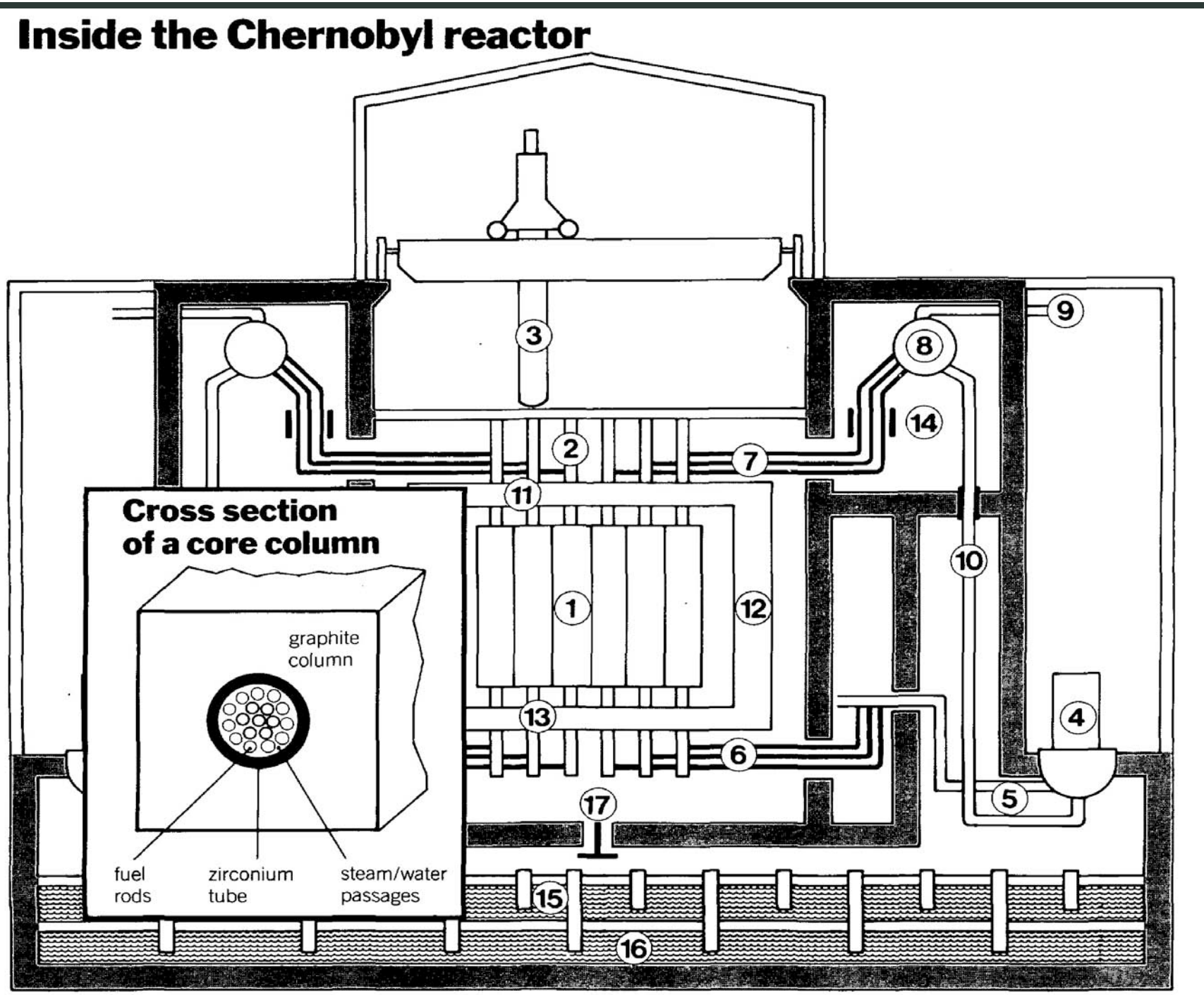
dimensione: diametro 12m altezza 7m
moderatore: grafite (2488 blocchi)
combustibile: uranio arricchito al 2% in 1661
canali entro i blocchi di grafite
refrigerante: acqua, nei canali indipendenti
potenza: 3200 MWt
temperatura della grafite: 600°C
barre di controllo: 211 di carburo di cadmio,
con punta di grafite e 1m d'acqua

RBMK Reactor Design



Source: Nuclear Energy Institute

Inside the Chernobyl reactor



vantaggi dei reattori RBMK

tecnologia consolidata

possibilità di incrementare la potenza con semplice aggiunta di elementi modulari

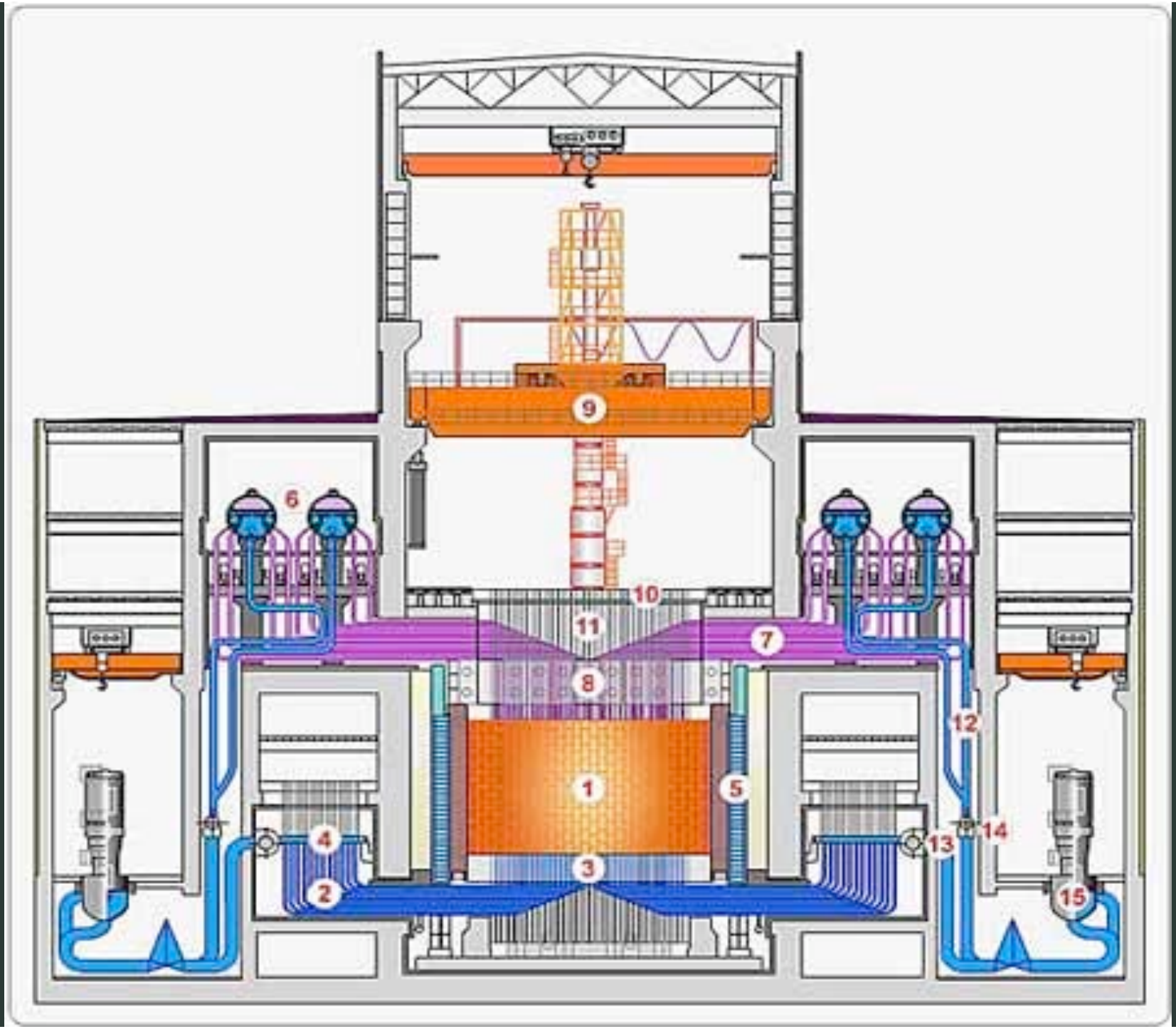
carico e scarico del combustibile con reattore in funzione e quindi la possibilità di migliori prestazioni produttive

Sistemi di sicurezza dei RBMK:

- gli ambienti contenenti la pompa di circolazione principale, il sistema refrigerante di emergenza, e i separatori di vapore, possono resistere ad alte sovrappressioni (fino a 4,5 bar);
- nel caso di rottura di un tubo a pressione, il vapore e l'idrogeno che si possono formare vengono raccolti in un sistema chiuso d'acciaio in grado di sopportare alte sovrappressioni;
- i sistemi di controllo che segnalano eventuali situazioni di rischio intervengono automaticamente a spegnere il reattore in caso di necessità

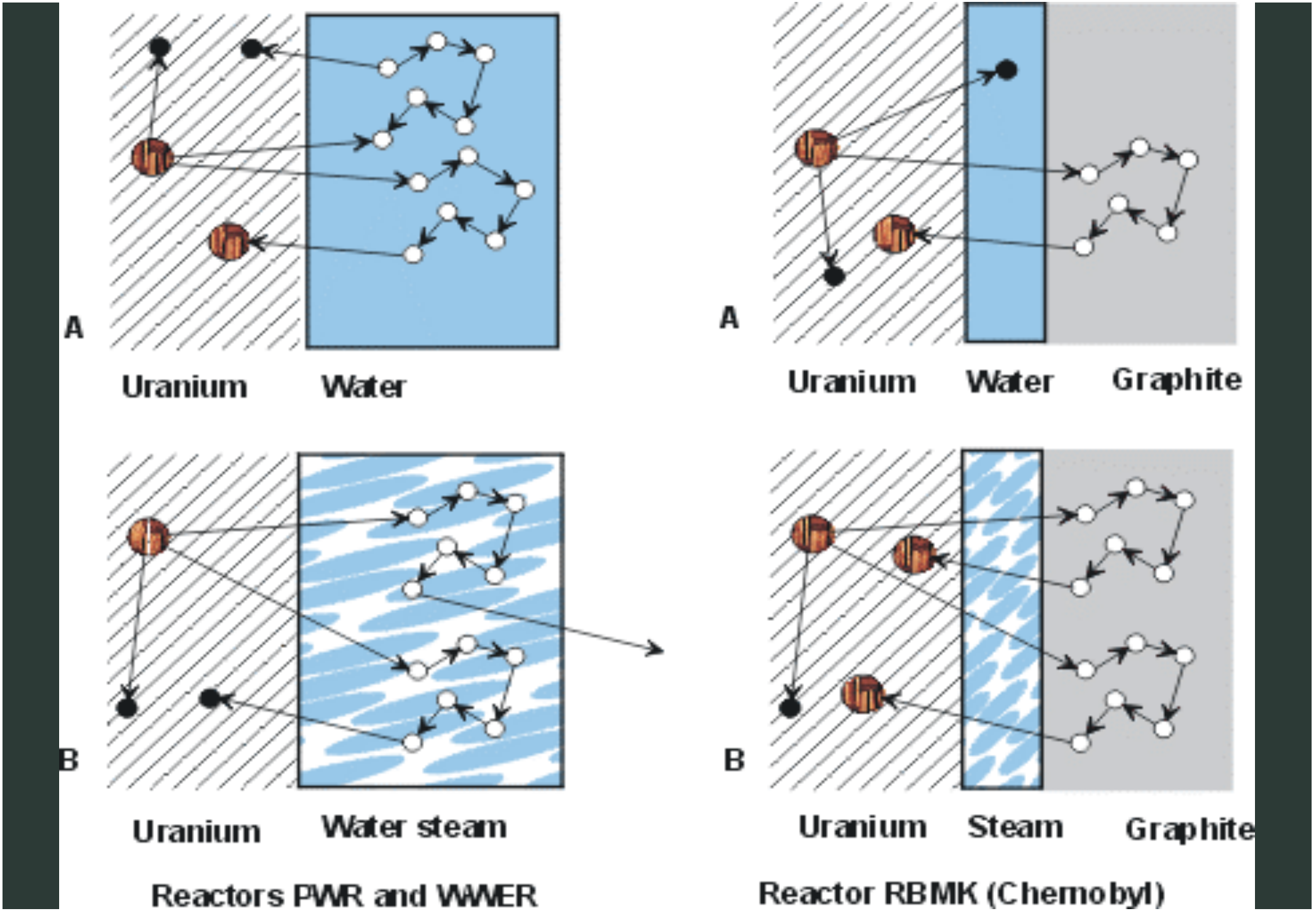
carenze dei reattori RBM

- instabilità dinamica del nocciolo (vibra!)
- limitata efficacia del sistema di protezione (insufficiente rapidità di inserzione delle barre di controllo)
- inadeguatezza della refrigerazione di emergenza (sistema complesso, insufficiente ridondanza)
- assenza di un sistema di contenimento (solo una parte dei circuiti primari è in compartimenti a tenuta)


9
6
10
11
7
8
12
1
5
4
13
14
3
2
15

carenze dei reattori RBMK

- mancanza di un tubo di calandra che separi il tubo col combustibile dalla grafite
- eccessiva dipendenza della regolazione e controllo dell'impianto da interventi degli operatori
- incompatibilità chimica dei materiali presenti nel nocciolo (grafite-acqua, possibilità di produzione di idrogeno)
- reazione positiva fra reattività e vapore (instabilità intrinseca)


A
Uranium
Water
A
Uranium
Water
Graphite
B
Uranium
Water steam
B
Uranium
Steam
Graphite
Reactors PWR and WWER
Reactor RBMK (Chernobyl)

Chernobyl l'esperimento

verificare se in caso di perdita di potenza elettrica
- e quindi del mancato funzionamento delle pompe di raffreddamento
le turbine in fase di rallentamento potevano far funzionare le pompe fino all'accensione dei generatori diesel d'emergenza

Chernobyl cronologia

venerdì 25 aprile
13:05 diminuizione della potenza, verso lo spegnimento dell'impianto
14:00 sconnessione del sistema di raffreddamento di emergenza:
- il sistema di regolazione automatica viene spento
- la potenza scende a 1600 MWt
23:10 si riprende a diminuire la potenza per raggiungere un valore fra 700 e 1000 MWt (700 MWt è il minimo permesso dalle norme di sicurezza)

Chernobyl cronologia

sabato 26 aprile

0:00 si passa dal sistema di controllo automatico a quello manuale

- la potenza crolla a 30 MWt

- si forma xenon che "avvelena" il reattore

- si estraggono barre di controllo fino al limite di sicurezza di 30 barre

1:00 si aumenta la potenza a 200 MWt rimuovendo ulteriori barre - ne rimangono solo 11

1:07 si aggiungono 2 pompe di riciclo portando il totale a 8 superando il flusso di sicurezza

- si formano bolle nel circuito dell'acqua
- si lasciano solo 6 barre di controllo
- si bloccano i segnali di protezione di emergenza violando le norme di sicurezza

1:19 aumenta la reattività oltre i limiti; il sistema di controllo richiede lo spegnimento immediato. L'allarme viene ignorato e si procede all'esperimento

1:22:30 si diminuisce enormemente il flusso d'acqua

1:23 la temperatura nel reattore comincia a salire
le pompe funzionano al ritmo delle turbine
diminuisce il flusso d'acqua nel reattore

1:23:04 si chiudono le valvole di immissione acqua nelle turbine
la potenza del reattore cresce
l'esperimento si conclude
l'operatore vede le barre muoversi

1:23:40 si aziona il sistema di spegnimento urgente AZ-5
i frammenti di combustibile causano vuoto nei tubi
aumenta enormemente la potenza.

1:23:43-45 la potenza aumenta rapidamente per l'effetto positivo del vuoto e per l'inserzione veloce delle barre

Le barre efficaci si deformano per il calore e non riescono ad entrare in operazione

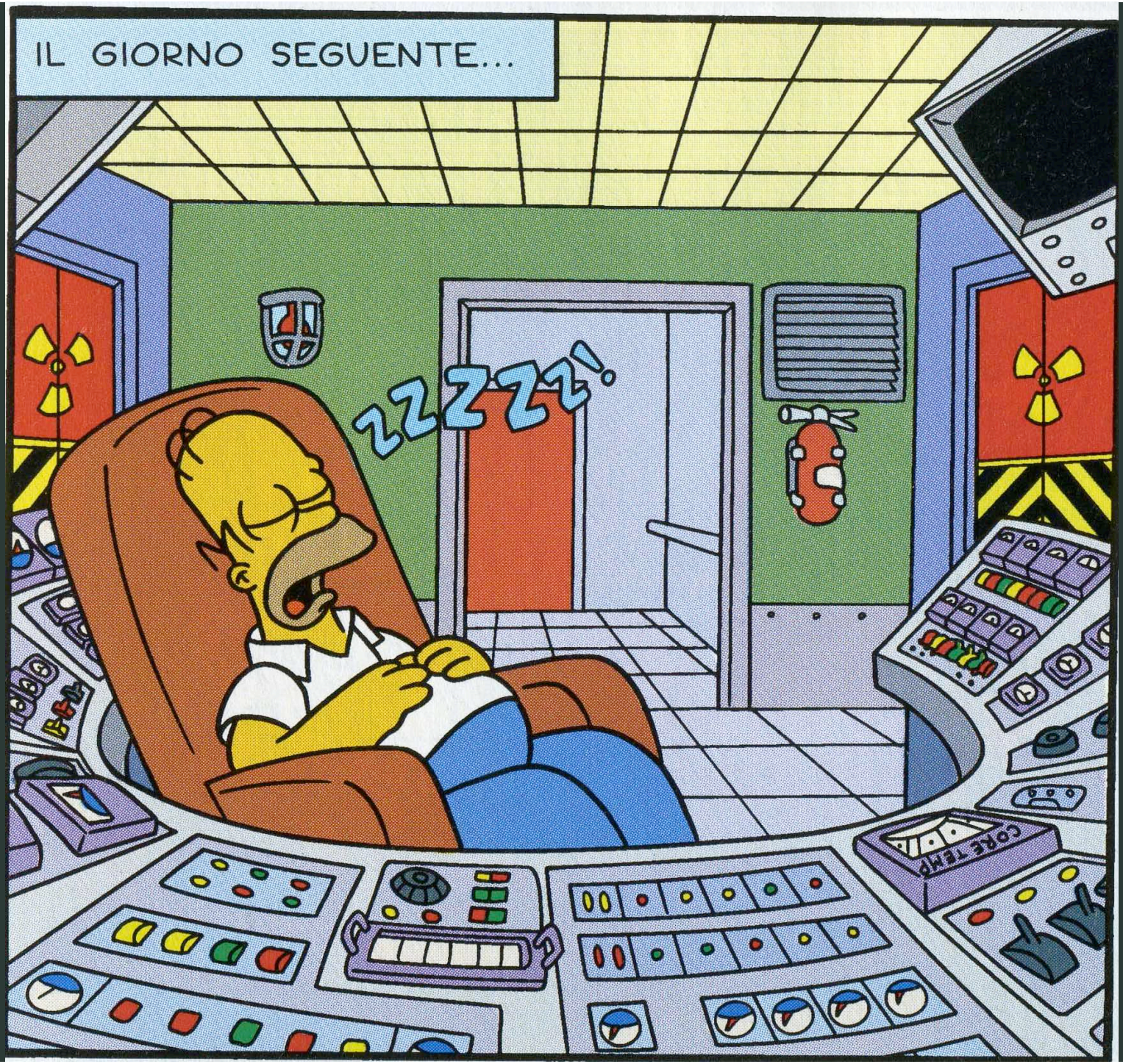
1:23:48 il vapore acqueo causa una prima esplosione seguita da una seconda dopo qualche secondo

cause: il fattore umano

- il personale che dirigeva l'impianto e condusse le operazioni non era informato dei problemi strutturali del reattore
- i dirigenti non erano qualificati per gestire grandi reattori nucleari
- scarso controllo da parte di enti preposti
- regime di segreto sui prolemi degli impianti nucleari anche per i responsabili

cause: il fattore umano

- scarso addestramento del personale
- gli operatori procedettero con scarsa cura e violarono le procedure d'impianto
- insufficiente comunicazione fra gli operatori e i responsabili della sicurezza
- gli operatori spensero molti sistemi di sicurezza del reattore


IL GIORNO SEGUENTE...
ZZZZZ
CORE TEMP

Provvedimenti

67 dipendenti licenziati
27 espulsi dal partito comunista
10 anni di prigione a
- Viktor Bryukhanov, direttore della centrale
- Nikolai Fomin, ingenere capo
- AnatolyDyatlov, vice ingegnere capo
- Alexander Kovalenko, supervisore reattore 4
- Boris Rogozhkin, capo della squadra

2 anni di prigione a
Yuri Laushkin, ispettore della centrale

cause: la progettazione

- instabilità a bassa potenza - contro l'intuizione e ignorata dal personale
- sensibilità positiva al vuoto
- la particolare forma delle barre: appena inserite a causa della punta di grafite e la parte cava aumentano la reattività anziché diminuirla, anche perché espellono l'acqua
  * contro l'intuizione
  * il personale non lo sapeva

Pierot

Pierot