



Istituto Nazionale
di Geofisica e
Vulcanologia



Carbon Capture & Sequestration: prospettive al 2020

Quattrocchi Fedora

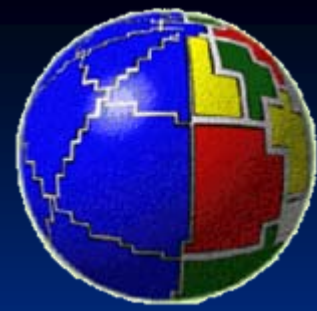
INGV, Sezione Roma 1, UF 3 Resp. UF Geochimica dei Fluidi, Stoccaggio Geologico e Geotermia,
quattrocchi@ingv.it

INGV, Via di Vigna Murata 605, 00143, Roma, Italia

Prof. a contratto Università Tor Vergata, Facoltà Ingegneria Industriale, corso “trasporto e confinamento della CO₂”

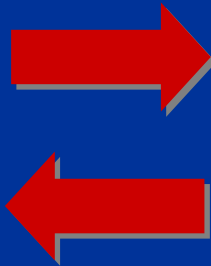
con il contributo di: Mauro Buttinelli, Barbara Cantucci, Daniele Cinti, Monia Procesi, Luca Pizzino, Galli Gf, Ale Sciarra, Nunzia Voltattorni, Mauro Anselmi, Giuliana Mele, Claudio Chiarabba, Davide Scrocca, Alessandro Carosi, Giuliana D'Addezio, Fabio Di Felice

Perché l'INGV è coinvolto “in primis” nei progetti di stoccaggio geologico di CO₂ ?



UNICO ENTE DI RICERCA EUROPEO

CHE SI OCCUPA “PER STATUTO” DEI RISCHI ASSOCIATI
ALLO STOCCAGGIO GEOLOGICO DI CO₂, PER CONTO DELLA
PROTEZIONE CIVILE!!



Perché la TERRA ha SISTEMI naturalmente RICCHI IN CO₂:

Le specie viventi ed umane hanno da sempre convissuto in strutture degassanti a CO₂ quali vulcani, aree di faglia (Diffuse Degassing Structures=DDS) definite “CO₂ analogues” o aree naturalmente “sequestranti” CO₂

Monitoraggio di greenhouse gases (CO_2 , CH_4): esperienza INGV massima in Europa-mondo



INGV



Etna

**Stesse tecnologie di
monitoraggio della CO_2
naturale e della CO_2
iniettata nel sottosuolo
industrialmente**



INGV
station
on Etna

INGV
sub at
work

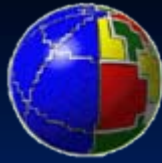


Etna



Panarea

Concetto di flusso endogeno naturale di CO₂



- I processi base riconosciuti da noi geologi essere importanti nel muovere verso la superficie del suoli dei geogas naturalmente o industrialmente conservati nel sottosuolo (processi noti come: leakage e seepage) attraverso gli strati di roccia del sottosuolo ed i sedimenti sono: la *diffusione*, la *advezione*, oltre alla *convezione*.
- Se il trasporto attraverso il mezzo (roccia e acquiferi) avviene per diffusione, il flusso stazionario, diffusivo, Φ_d è proporzionale al gradiente di concentrazione, $dC/d\lambda$, come espresso dalla Legge di Fick:

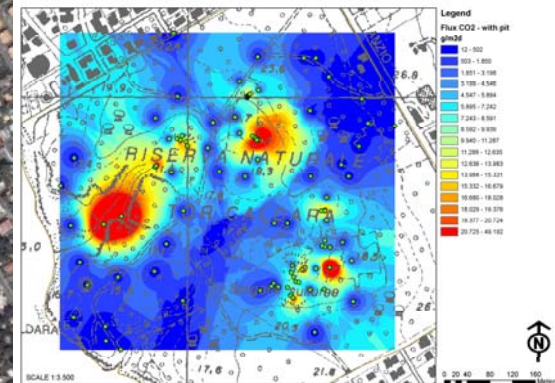
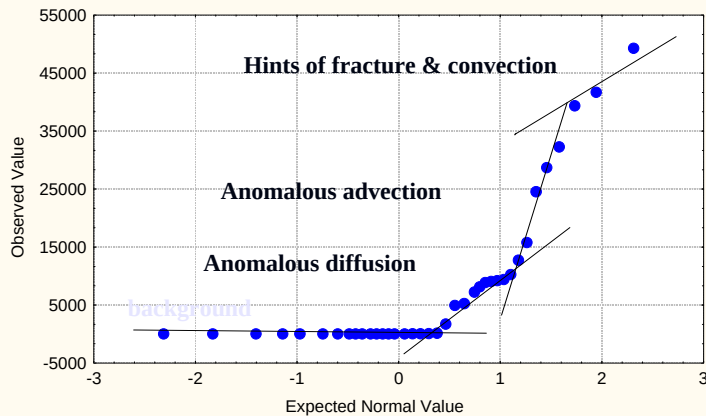


$$\Phi_d = -vD(dC/d\lambda) \quad (1)$$

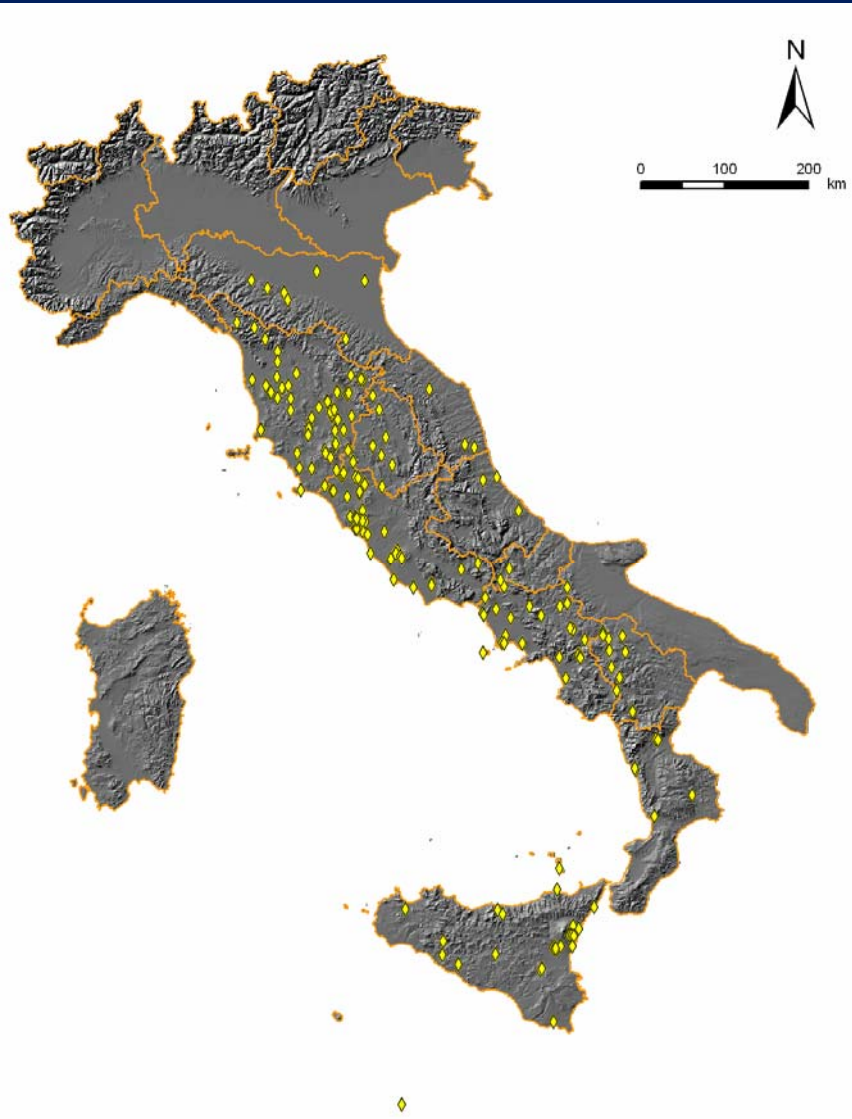
- Dove v e D rappresentano la porosità del mezzo (i.e., la frazione di volume di poro rispetto al totale del volume del suolo o della roccia e il coefficiente di diffusione rispettivamente, il segno meno indica che le molecole di gas (CO₂) si muovono verso l'alto cioè dal punto a maggiore concentrazione al punto a minore concentrazione. Al contrario, l'advezione implica movimento di massa conseguente ad un gradiente di pressione $dP/d\lambda$. Il flusso advettivo Φ_a è descritto dalla Legge di Darcy:

$$\Phi_a = (k/\mu)(dP/d\lambda) \quad (2)$$

Normal Probability Plot of CO₂ flux (no pit)
y = -0.341+0.0001*x+eps



La CO₂ è il gas più “naturale” che esiste: in Italia nel sottosuolo: miliardi di tonnellate di CO₂. Circa 300 DDS



- La maggior parte delle “Diffuse Degassing Structures” (DDS) è concentrata lungo il versante tirrenico, nelle zone vulcaniche e nelle zone di faglia;
- E’ l’unico paese al mondo che svolge massicciamente un monitoraggio delle DDS per conto della Protezione Civile ed ad opera di INGV insieme a università etc...
- dai tempi degli antichi romani ad oggi ci sono stati in tutto una ventina di morti (i malcapitati non conoscevano il fenomeno; no reti).
- E’ soprattutto l’H₂S e non la CO₂ ad essere letale



CCS come tecnologia “ponte”

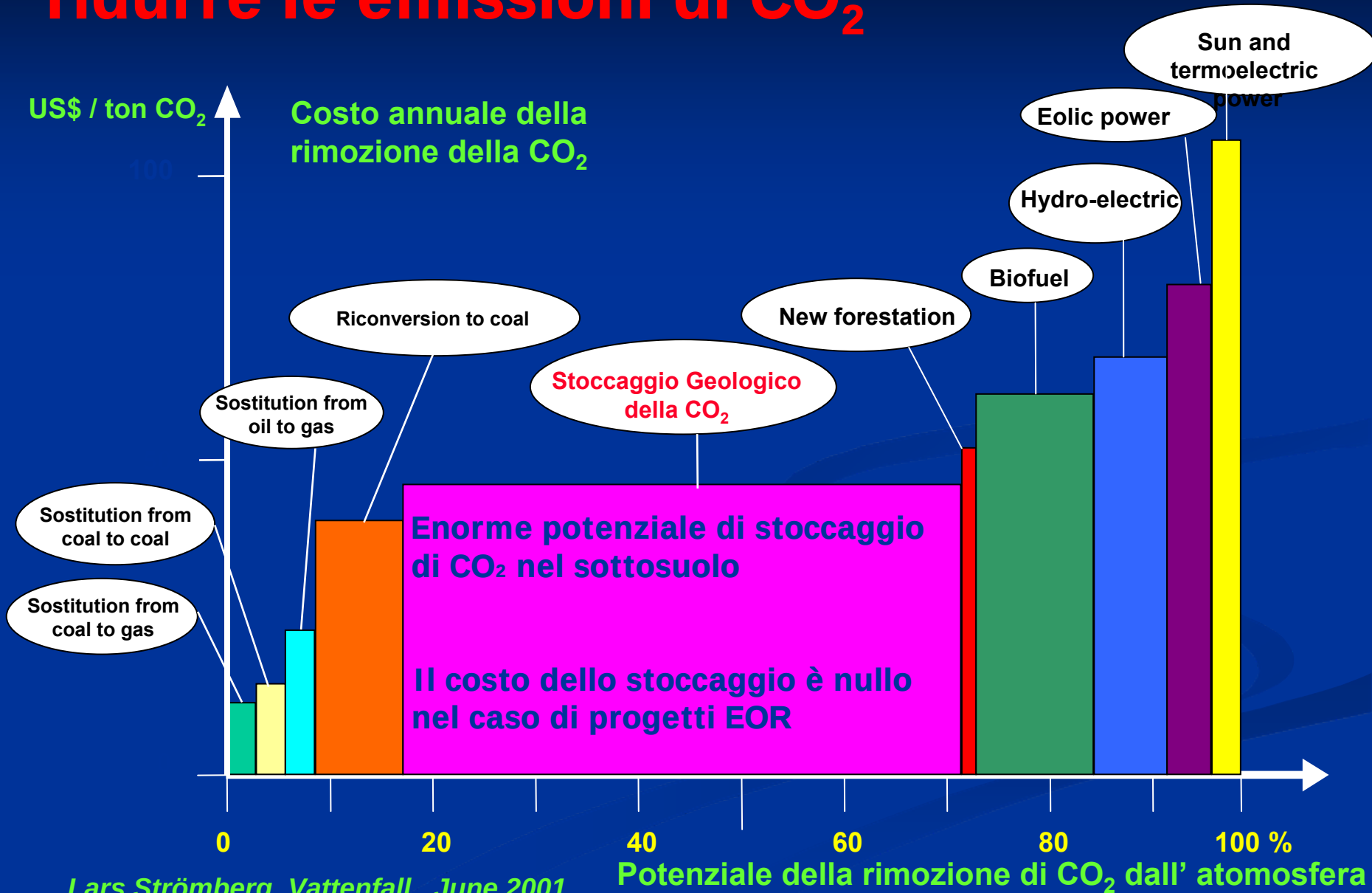
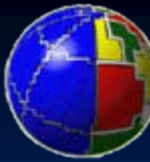


**« ponte » mentre sviluppiamo
rinnovabili meno « space consuming »,
nucleare di IV generazione, efficienza
energetica, risparmio energetico, sviluppo
sostenibile, etc....**

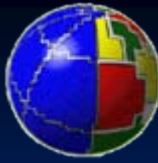
**altrimenti non facciamo « in tempo »
è troppo rapida la salita dei ppm di CO₂ in
atmosfera.....**

**India e Cina: 500 centrali a carbone !!
... almeno insegniamolo a loro.....**

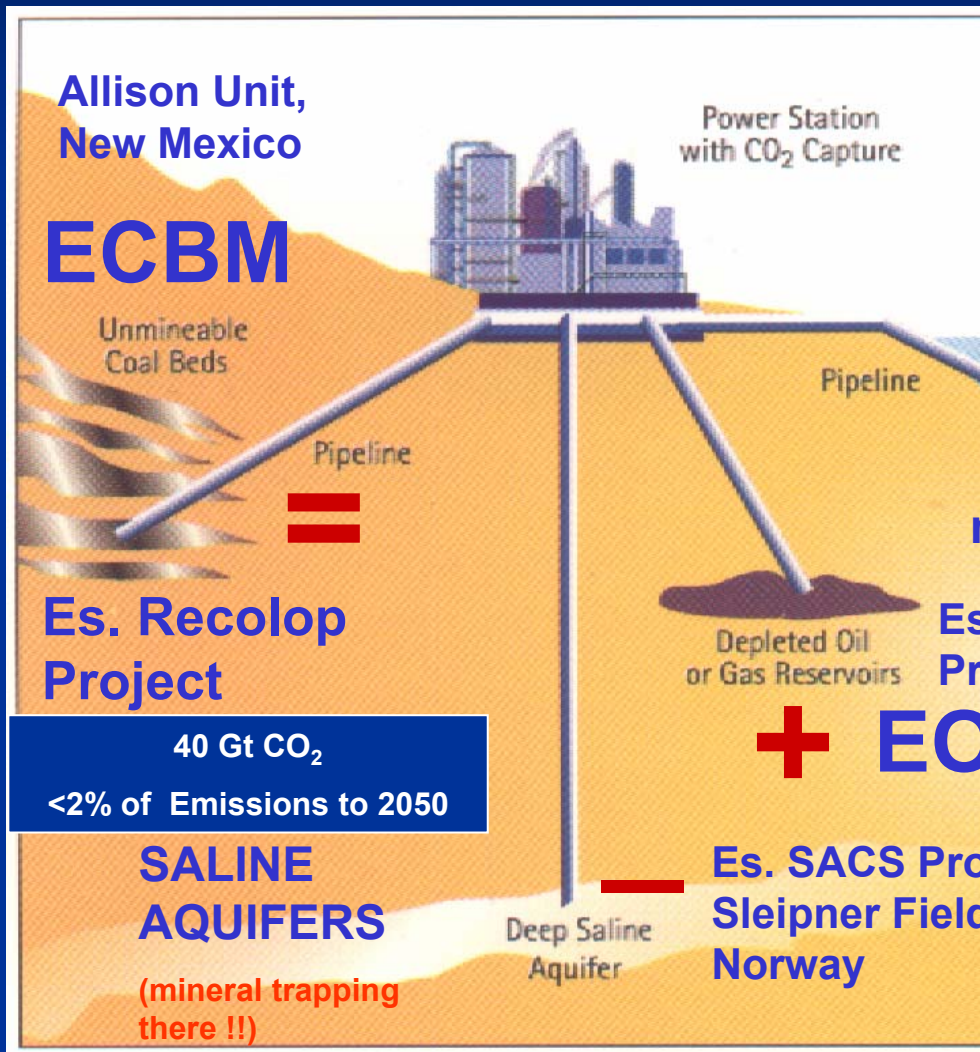
Stato dell'arte delle opzioni per ridurre le emissioni di CO₂



Opzioni per lo stoccaggio geol. di CO₂



tempi stretti!! (550 ppm in atmosfera troppo vicini): “learn by doing”



+ generalmente tutti i costi sono coperti dagli introiti del ricavo aggiuntivo della vendita del petrolio in più ricavato dall'uso dello stoccaggio di CO₂ nel serbatoio petrolifero

= i costi vengono coperti dai ricavi di CH₄ che viene desorbito dal carbone.

- necessita mercato di emission credits e certificati verdi.

not viable



IEA Greenhouse Gas R&D Programme

920 Gt CO₂

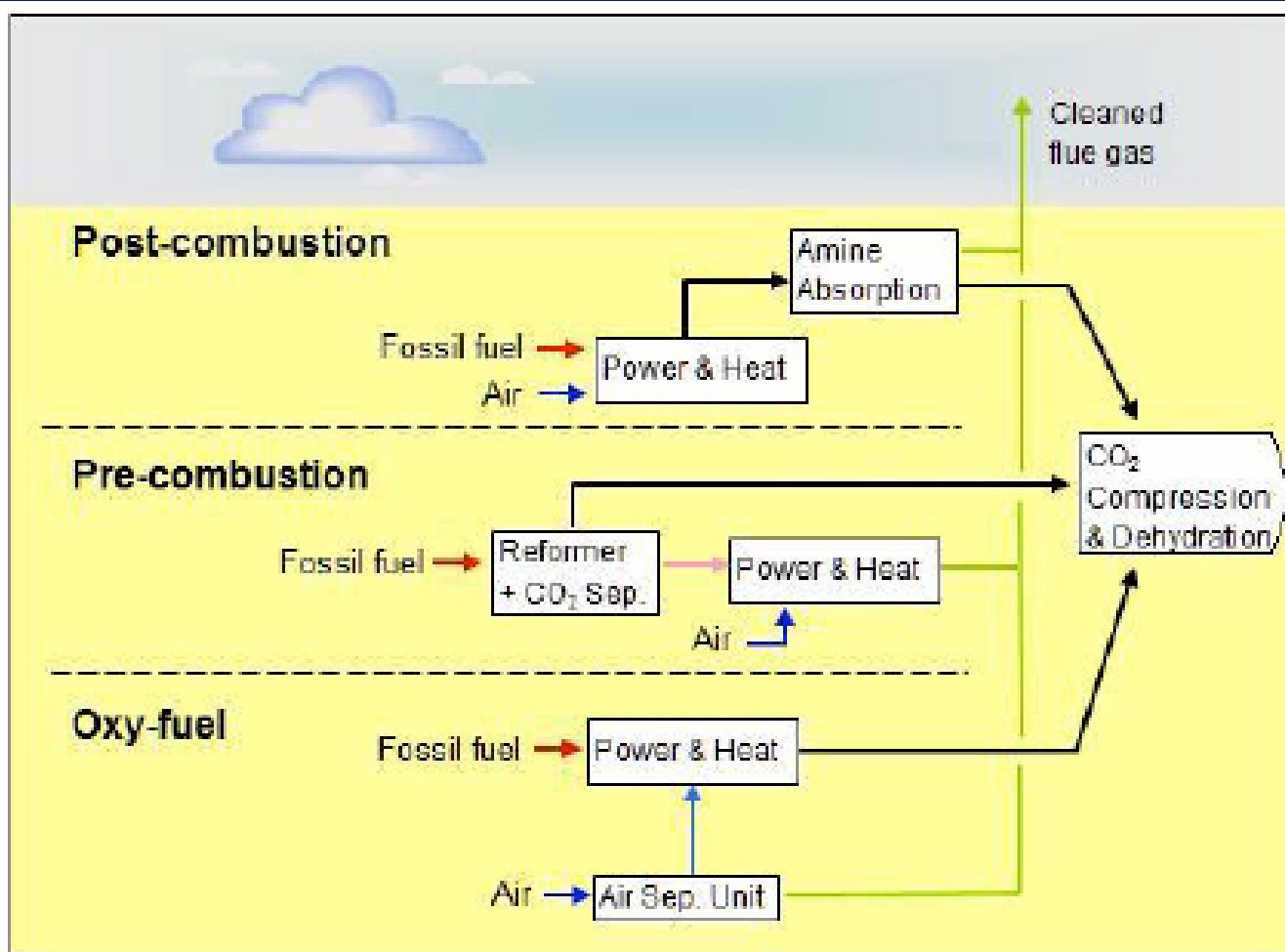
45% of Emissions to 2050

400-10 000 Gt CO₂

20-500 % of Emissions to 2050



Opzioni per la cattura di CO₂



Separation

30- 60 \$/t

Compression

8 - 10 \$/t

transport

1- 3,5/100 km \$

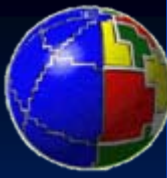
Store

2 - 20 \$/t

Total :
45 -95 \$/t

IPCC (2005): *Summary for Policymakers*. A Report of Working Group 1 of the Intergovernmental Panel on Climate Change

ENTITA' INTERGOVERNATIVE



policy-makers & stakeholders

- IPCC
- CSLF
- IEA, IEA-GHG
- ZEP-EU

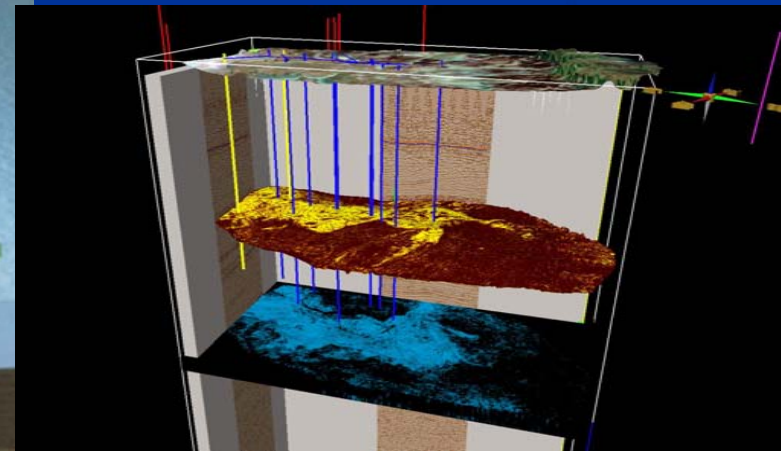
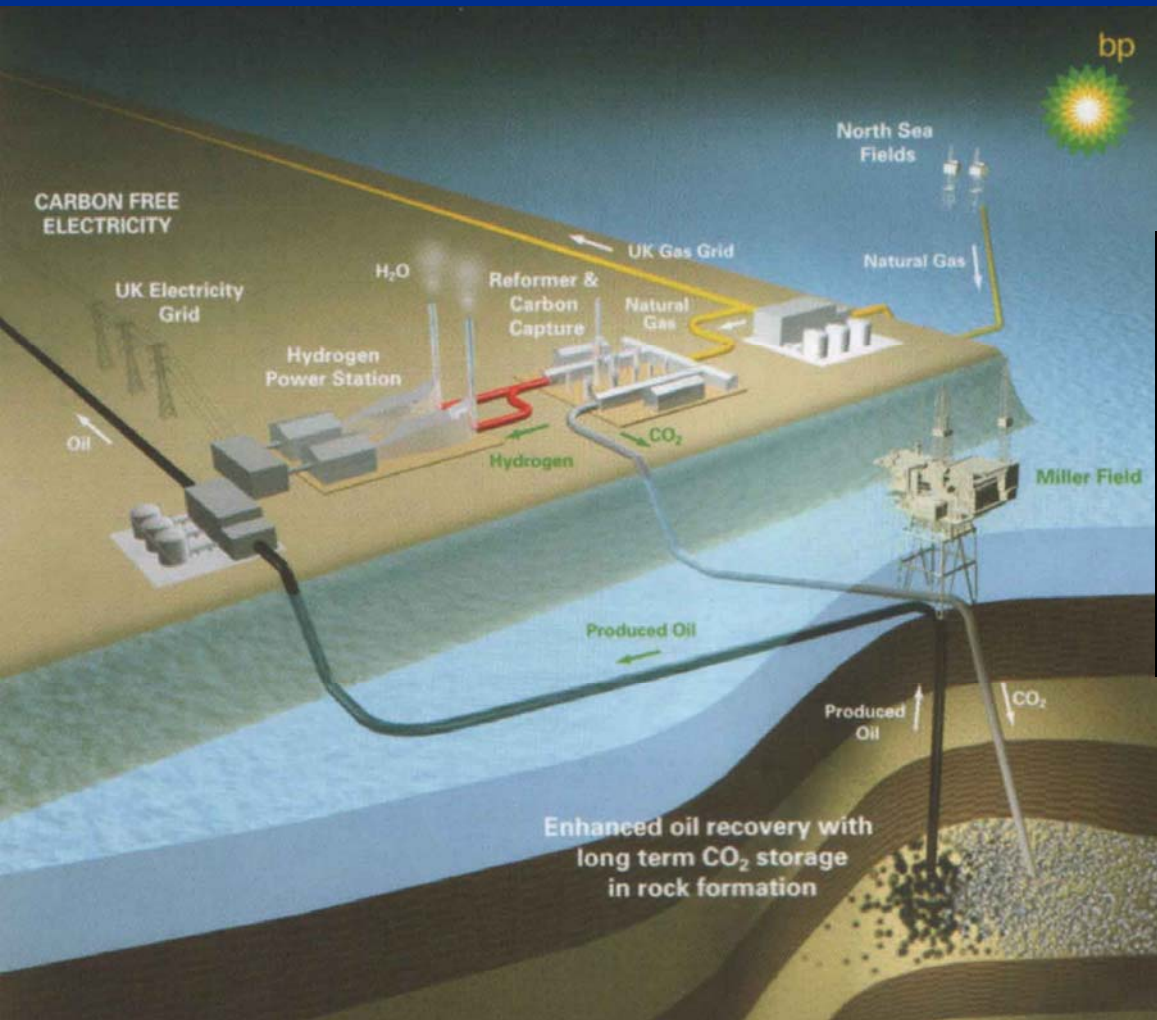
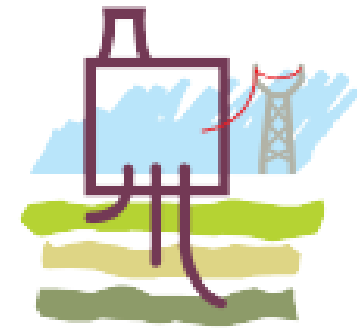


Fig. by BP: injection simulation in InSalah, Algeria

European Platform ZEFFPP: ZERO EMISSION FOSSIL FUELS POWER PLANTS (Eu-ZEP)



SRA/SDD Overseeing Responsibility

Mirror Group
of Member States

Advisory Council

Agreed

Coordination Group

Secretariat

Plants &
CO₂-Capture

CO₂-Use &
Storage

Infrastructure &
Environment

Market,
Regulation & Policy

Communication &
Public Acceptance

SRA Responsibility:

Appert
Soothill
Valero

Strategic Research Agenda (SRA)

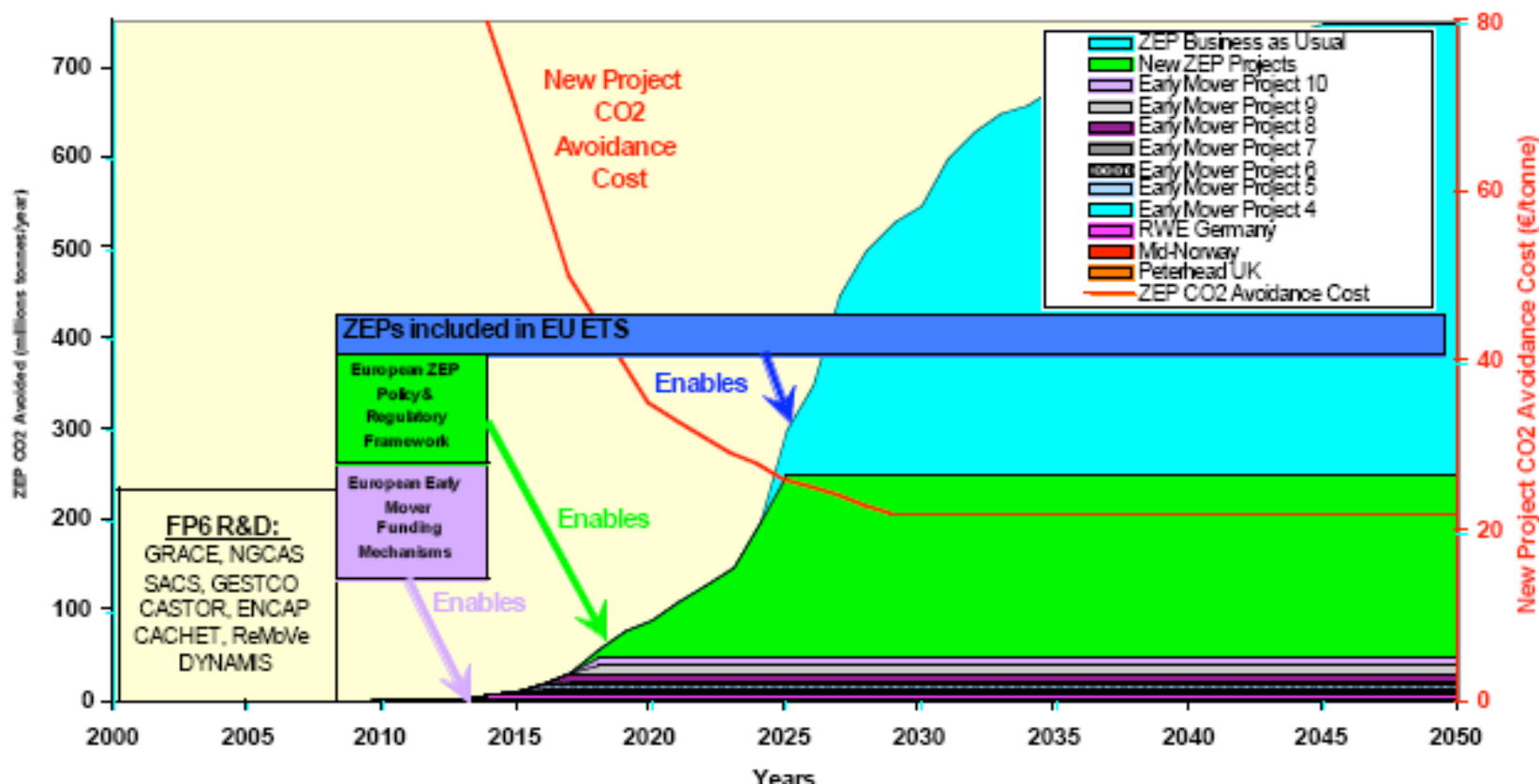
Deployment Strategy (DS)

SDD Responsibility:

Haege
Hill
Sweeney

The coordination group is responsible of the SRA and SDD,
overseeing the 5 groups

Obiettivo finale della ZEP e steps: Abbassare i costi della cattura



L'asse sinistro mostra la CO₂ che può essere evitata in atmosfera tramite il progressivo sviluppo ZEP in Europa. La linea rossa mostra come i costi si aspettino diminuire mentre si va avanti con R&D fino alla scala industriale.

Attuali progetti operativi di CCS al mondo



- Current storage is all related to petroleum
- It all operates under petroleum laws (excluding Australia)
- It draws on “free” capture of over 300 Mta world-wide
- Less than 10% of “free” capture is currently stored
- There are only localised incentives to store CO₂

KEY TO MAJOR CO₂ INJECTION PROJECTS

- Storage - underway
- Storage - proposed/planned
- Enhanced oil/gas recovery underway
- Enhanced oil/gas recovery planned
- ▲ Acid Gas - underway
- Feasibility studies in Italy

CO₂ storage projects workflow



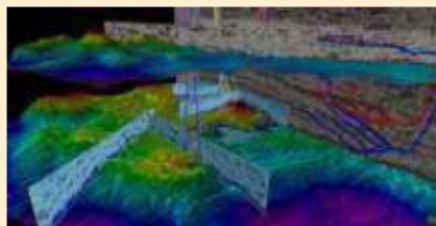
Pre-Operation Phase

~ 5-6 year

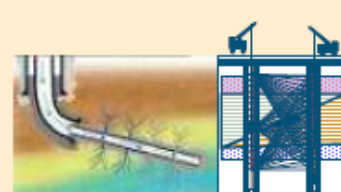
Site Selection



Site Characterization (SCP)



Field Design



Operation Phase

~ 10-50 years

Site Construction / Site Preparation

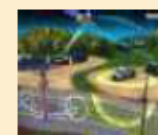


Injection

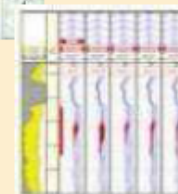


Monitoring (M&V)

• Operation



• Verification



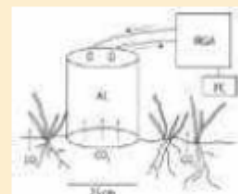
Post-Injection Phase

~ 100+ years

Site Retirement Programme (SRP)



• Environmental



Performance & Risk
Management System (PRSM)
Communication and Public Acceptance

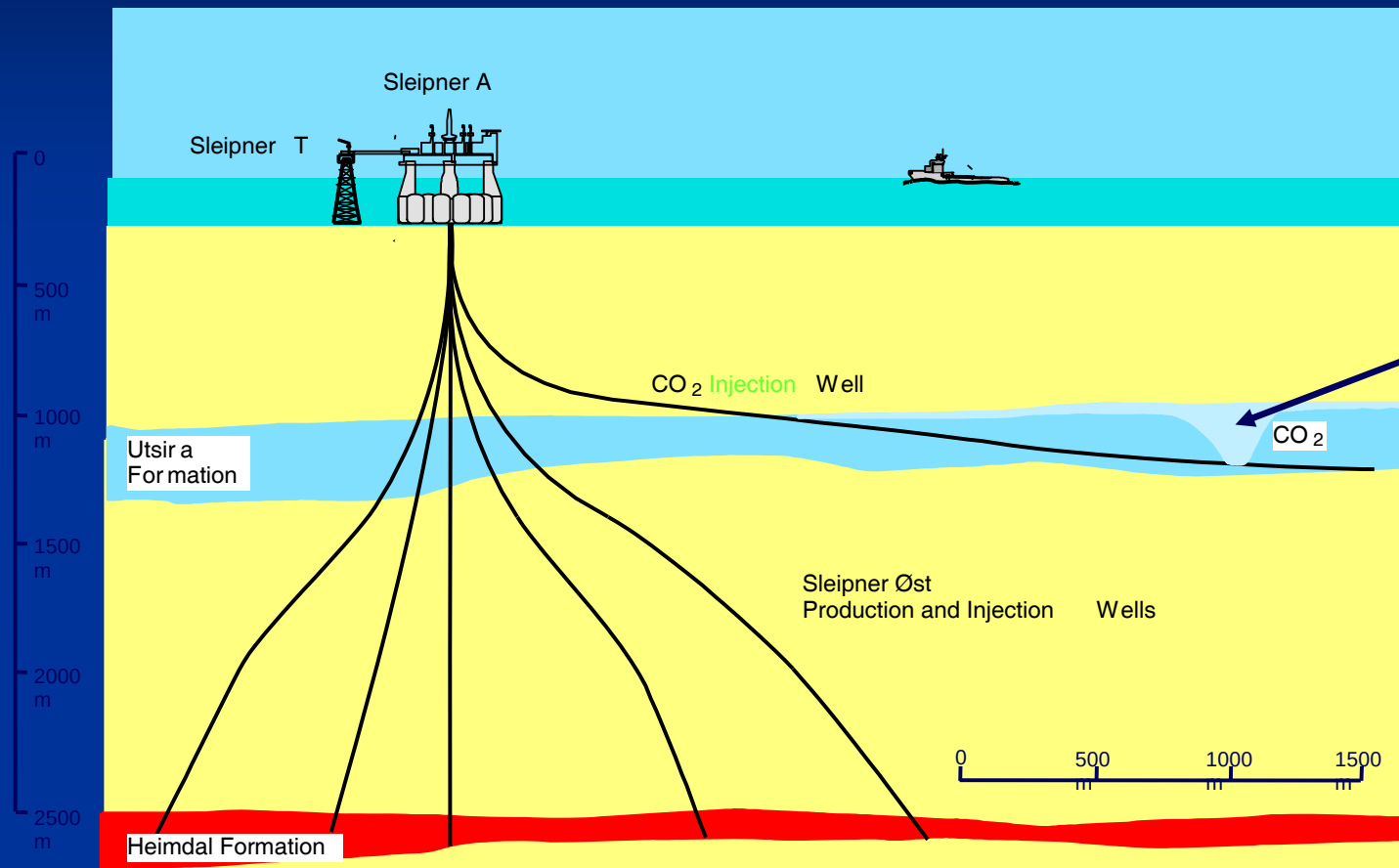


Siti che già iniettano CO₂ nelle rocce del sottosuolo: Sleipner (mare del Nord)



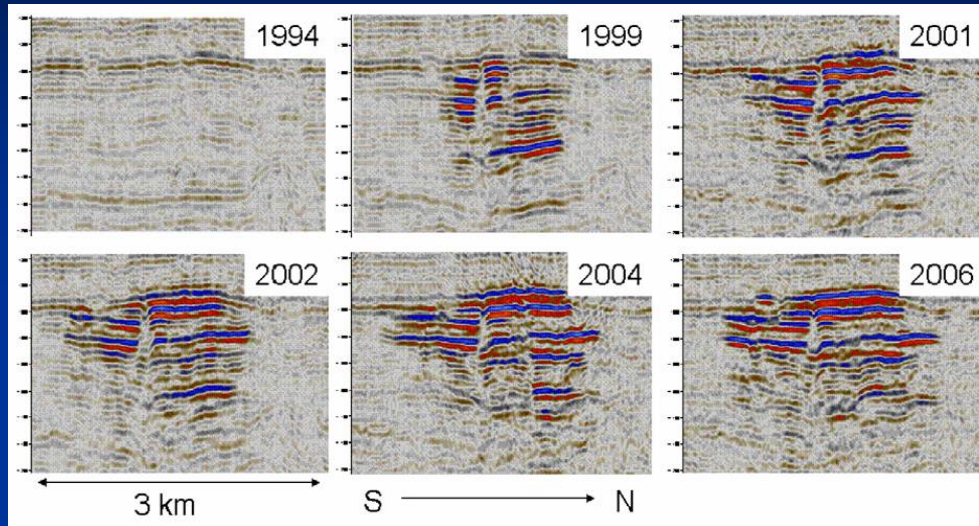
The Sleipner field - saline aquifer: 10 years of CO₂ Injection, “cleaning” natural gas (CH₄)

Siti che già iniettano CO₂ nelle rocce del sottosuolo: Sleipner (mare del Nord)





Sleipner CO₂ monitoraggio del sottosuolo



- 8,4 million tonnes injected over 10 years
- Plume area: 2,8 km² (1,3 km² in 2001)
- Plume long axis: 3760 m
- Maximum distance from injection point: 2560m
- Maximum speed of front since 2004: 250 m/year,
- Distance from CO₂ to wells:
 - Exploration well 15/9-13: 430m, decreasing about 12 m/year
 - D-template: about 2 km straight West of Northern plume
 - 15/9-19 wells: about 4,5 km North of plume



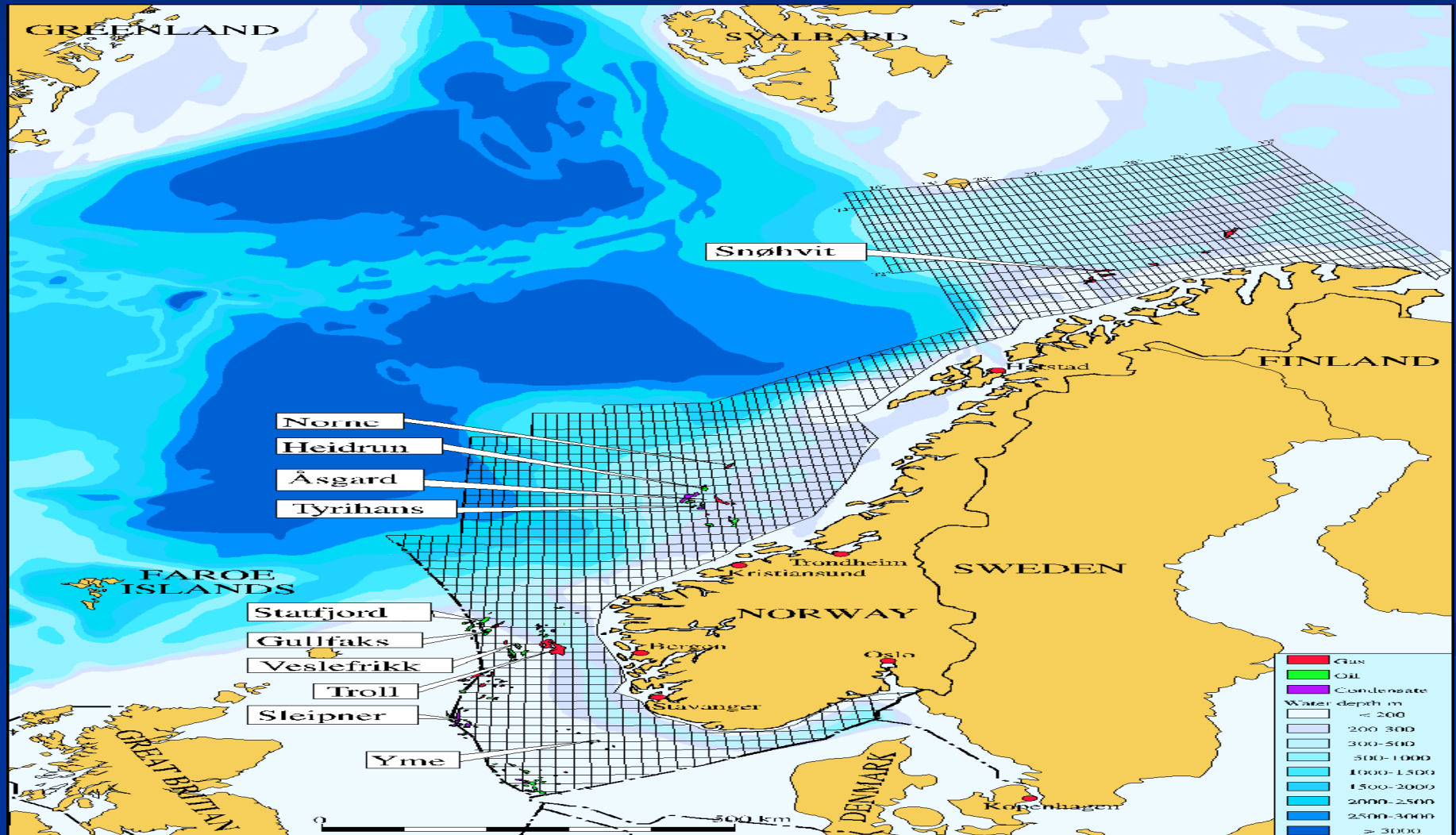
Sleipner CO₂ injection:

- Decided in 1992
- In operation since 1996
- 1 million tonn CO₂/year

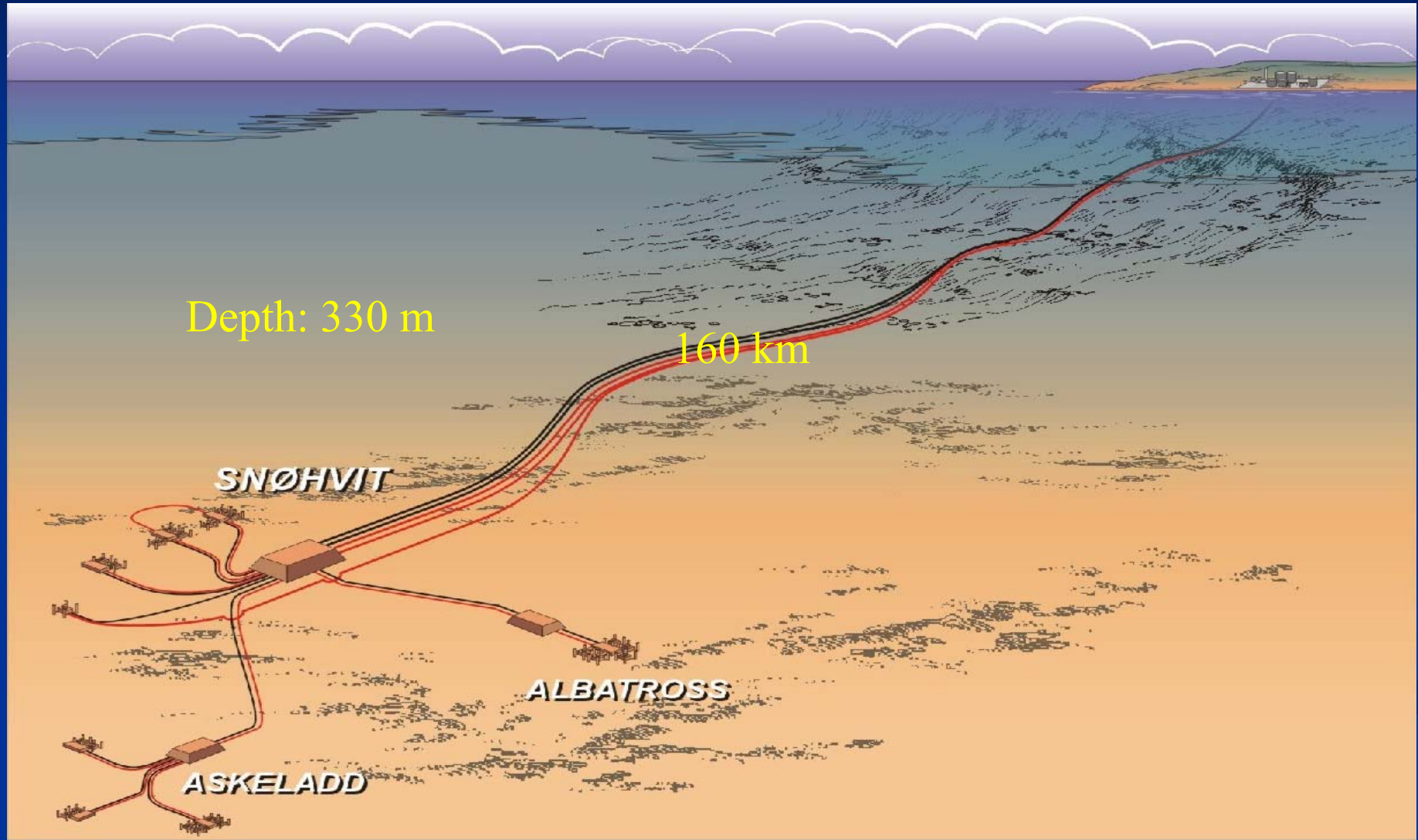
Time Magazine,

17. May 2004

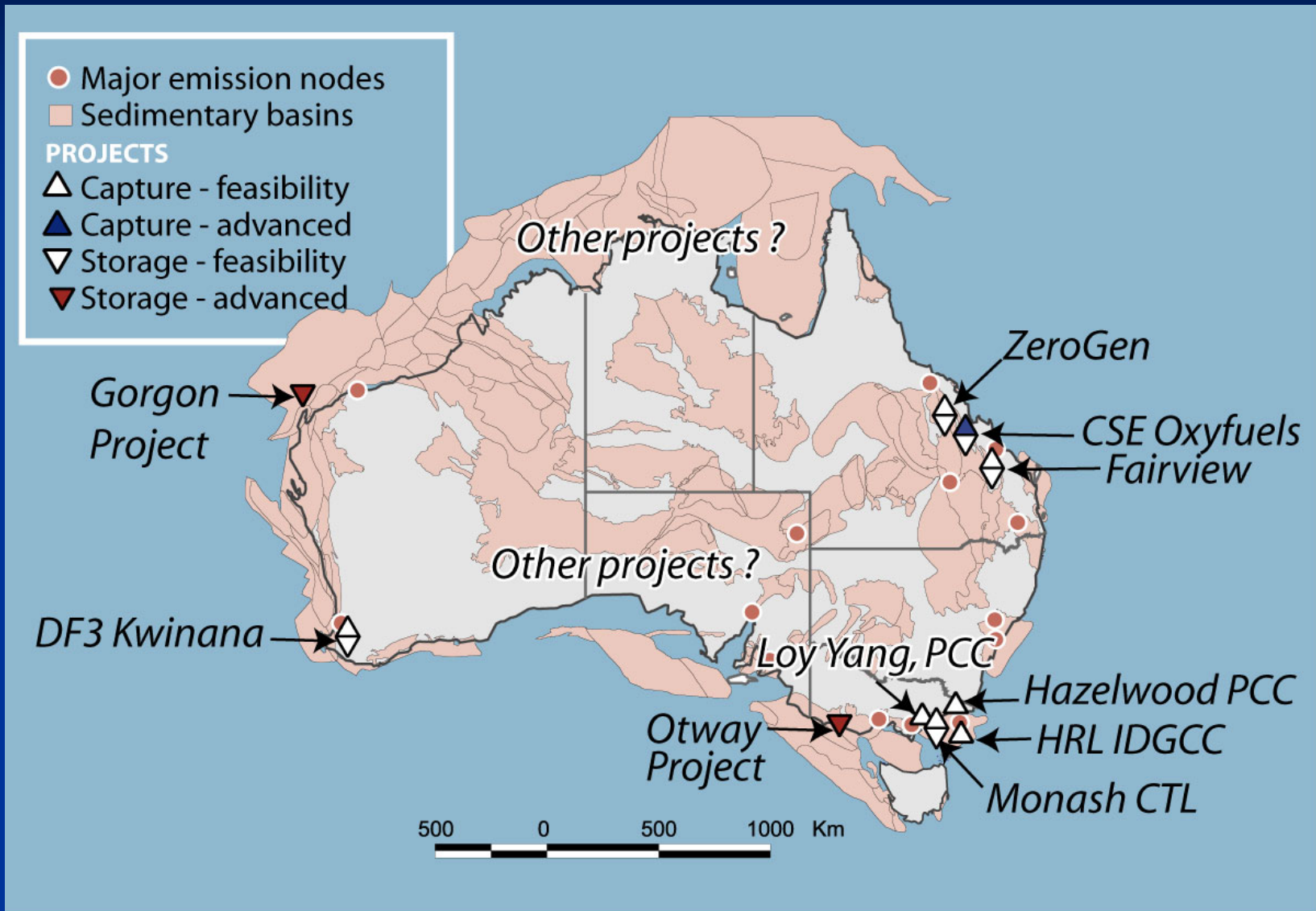
Snøhvit (Norway): CO₂ storage (now started!!)



Snøhvit (Norway) – at sea-bottom as a whole



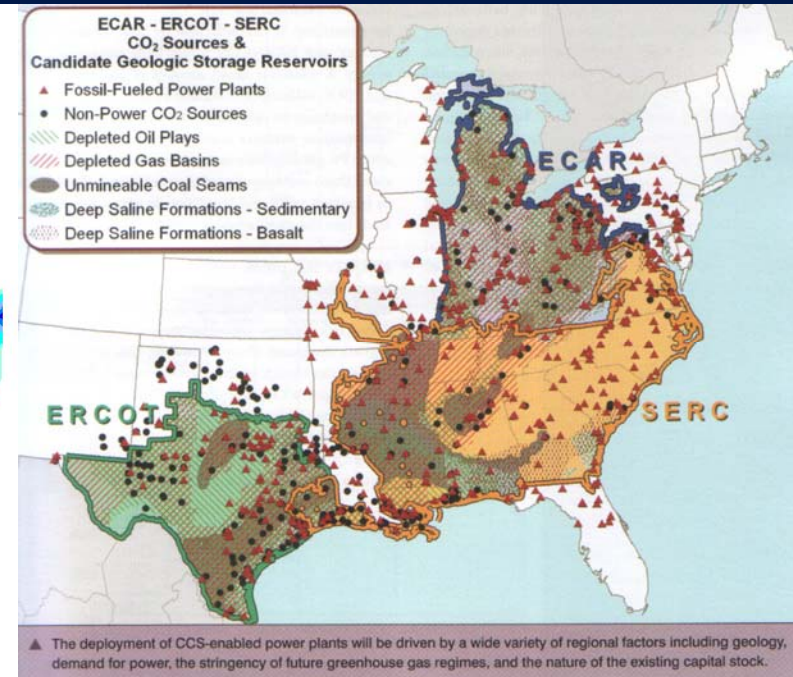
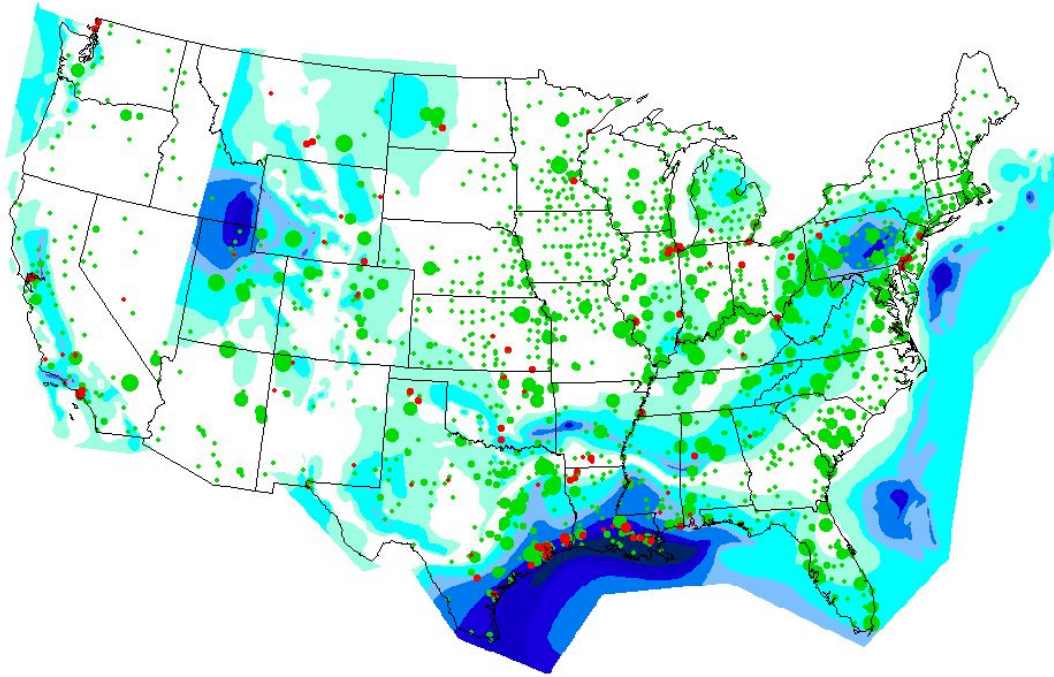
Australia CCS Projects



Based on experience in Australia over the last 10 years

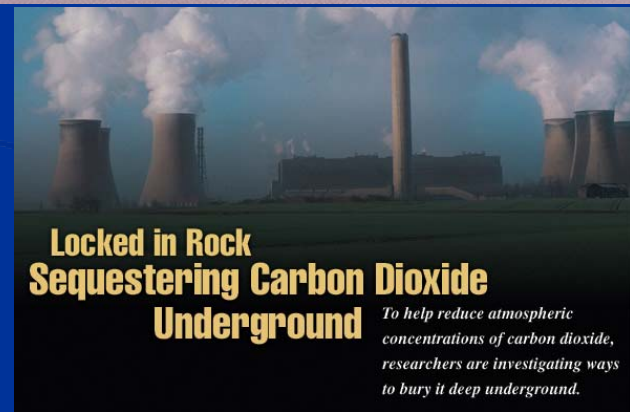
USA CO₂-EOR e CCS Projects

90 PROGETTI DI INIEZIONE CO₂ PER EOR
NEGLI ULTIMI 30 ANNI. 3500 Km DI PIPELINES



Power generation	4,942 (10.5 Gt)
Cement production	1,175 (0.9 Gt)
Refineries	638 (0.8 Gt)
Petrochemicals	470 (0.4 Gt)
Iron & Steel industry	269 (0.6 Gt)

- Centrali Elettriche
- Raffinerie
- Sedimenti idonei con spessore > 6 km



* Of at least 100,000 tonnes/year. Figures from IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage

UNICO PUNTO SU CUI BUSH ED OBAMA OK

Ci sono rischi nel trasporto di CO₂ via pipelines e iniezione ?? “learn by doing” !

con in contributi di:

Dott. Ing. Federico Bollati

Energy Management Consultant

Ingegnere Meccanico Iscritto all'Albo degli Ingegneri di Pavia - n. reg. 2685, Mobile: +39 347

874.20.40 federicobollati@hotmail.it

CO₂ SEQUESTRATION ED E.O.R. INDUSTRY: RISCHI OPERATIVI

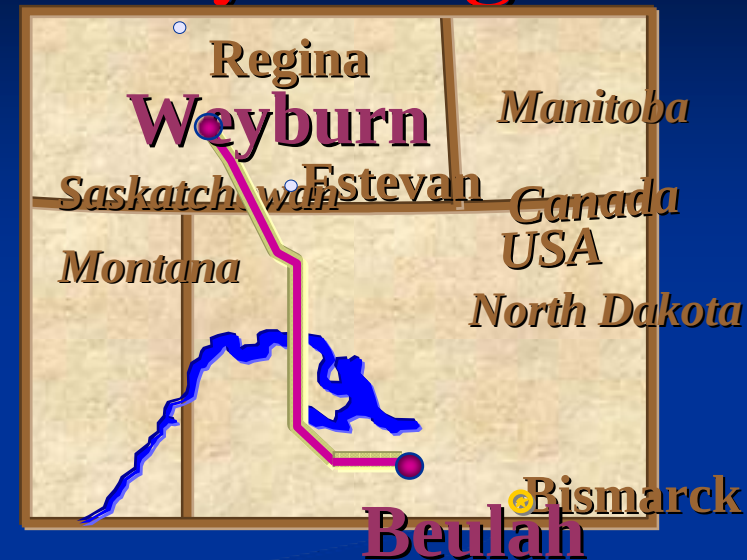
- Capturing (molto bassi)
- Compressing (molto bassi)
- Transporting: Leaks, Ruptures (bassi)**
- Injecting: Blow out, Contamination of groundwater (bassi)**



Ci sono rischi nel trasporto di CO₂ via pipelines e iniezione ?? “learn by doing” !

es. di Weyburn: la CO₂ proviene dalla Centrale a carbone “Great Plains Synfuels” in Beulah, Nord-Dakota della Dakota Gasification Company, con **300 km pipeline**

La CO₂ secca non è corrosiva



E.O.R. (Enhanced Oil Recovery) 35 anni di esperienza operativa
600 Milioni tonn CO₂ trasportata USA (Bacino Permiano –Texas)
3500 miglia rete pipelines installata (Texas)
245.000 barili/giorno Produzione da EOR “fondo del barile”



I dati storici relativi all' E.O.R. possono essere considerati lo strumento più attendibile per valutare i rischi connessi al trasporto e all'iniezione della CO₂ nei progetti di sequestro dell'anidride carbonica

Tipologie di rischio

TRASPORTO

Formazione di fessure nelle pipelines

- Diametro Φ : 3-10 mm
 $1,1 * 10^{-5}$ fessure/m/year (DNV)
 $1,18 * 10^{-4}$ fessure/km/anno (US statistics)

Formazione di falle nelle pipelines

- Diametro Φ : 50-150 mm
 $3.3 * 10^{-7}$ rotture/m/anno (DNV)
 $5,92 * 10^{-5}$ rotture/km/anno (US statistics)

SEQUESTRO

Blow out del pozzo di iniezione

- Pozzo di stoccaggio gas naturale (World):
 $2,02 * 10^{-5}$ incidenti/pozzo/anno (IEA)
- Pozzo di stoccaggio gas naturale (EU):
 $5,1 * 10^{-5}$ incidenti/pozzo/anno (IEA)
- Pozzo offshore Oil & Gas:
 $5 * 10^{-5}$ incidenti/pozzo/anno (IEA)
- Pozzo di iniezione CO₂:
 $2,02 * 10^{-5}$ incidenti/pozzo/anno (IEA, 2006)

Contaminazione di acque freatiche (corrosione o frattura coperture)

- **$3,95 * 10^{-4}$ incidenti/sito/anno** (8 incidenti su pozzi, verificatisi su **20271** siti di gas storage, IEA Survey 2006)
- **$7,89 * 10^{-4}$ incidenti/sito/anno** (16 incidenti totali verificatisi ad attrezzature interraste, IEA Survey 2006)

RISCHIO = Probabilità * Effetto (mortalità)

Per L'EOR e la CO₂ sequestration l'effetto è "site dependent" (densità abitativa, sitologia)

OSSERVAZIONE 1

OSSERVAZIONE 2

Tasso di mortalità per fughe di CO₂: **zero**

Necessità di attenta scelta dei siti di attraversamento e sequestro, sulla base della consolidata esperienza dell'industria E.O.R.

OSSERVAZIONE 3

Pressure_{CO2 sequestration} > Pressure_{EOR}



Attenta scelta dei siti e componenti

VALORI COMPARATIVI:

- Rischio massimo accettabile per il Personale, Piattaforma offshore: **R_{MAX} = 10⁻³**
- Guida automobile: **R = 10⁻⁴**
- Viaggio su Volo Commerciale: **R = 10⁻⁵**
- **Morti in aree italiane con DDS: R = 10⁻⁷**

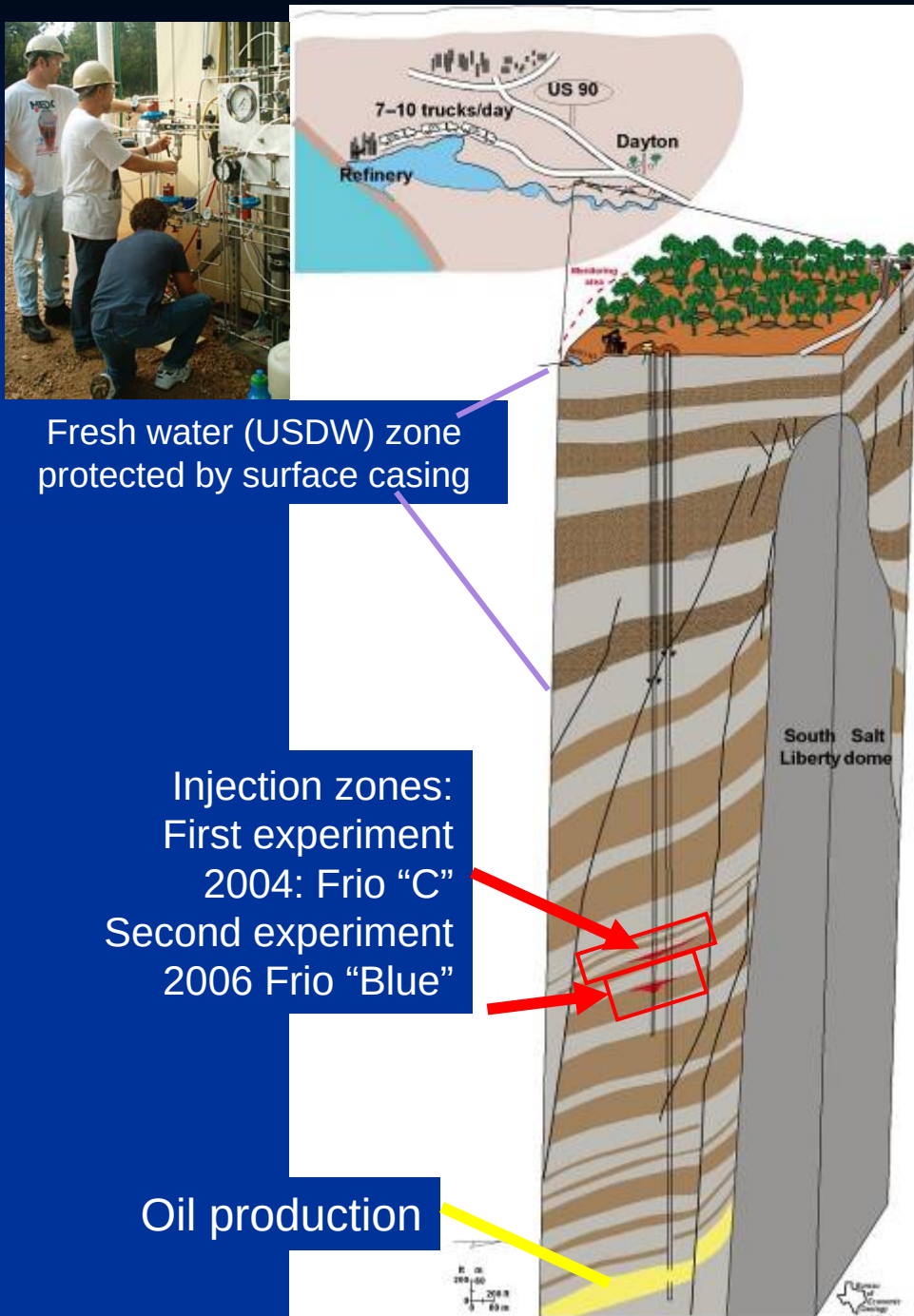
TOOLS:

- **Operation:** Leak / Rupture detectors;
- **Measure:** Temperature, Pressure, H₂S and Moisture Measure, mechanical and cathode protection, blowout preventers;
- **Law & Planning:** Meccanismo di scelta del sito ottimale, attenta caratterizzazione del sito, monitoraggio, azioni preventive.

Frio-Texas
Project



Frio Brine Pilot Site (Texas)



- Injection intervals: Oligocene fluvial and reworked sandstones, porosity 34-24%, permeability 4.4-2.5 Darcys
- Steeply dipping 11 to 16°
- Seals – several thick shales
- Depth 1,500 and 1,657 m
- Brine-rock system, no hydrocarbons
- 150 and 165 bar, 53 -60°C, supercritical CO₂

Hovorka, 2007



PTRC



IEA



EC



BGS



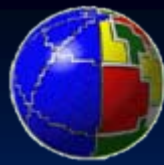
Integrated Project since 2002

The IEA-EC Weyburn Project



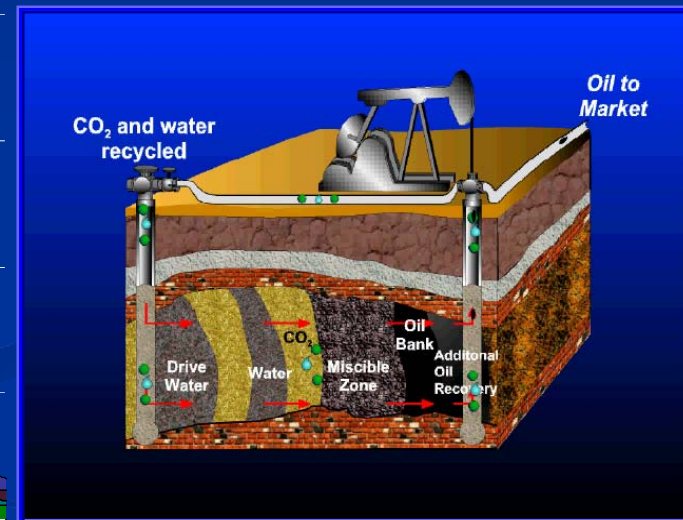
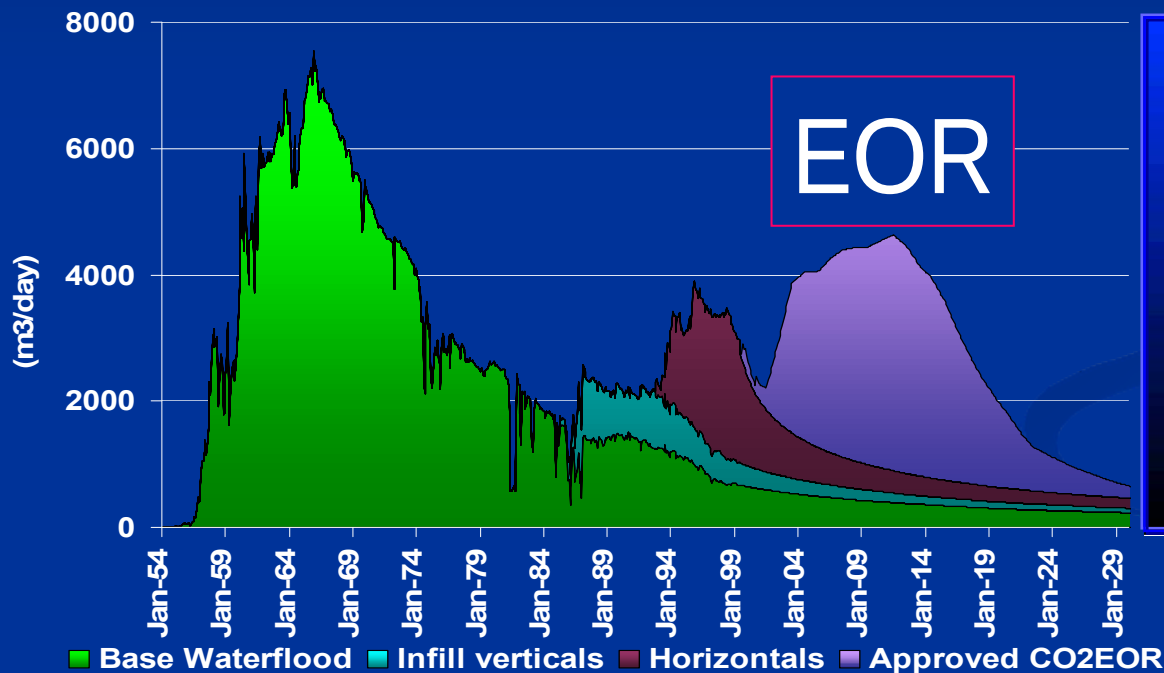
Istituto Nazionale
di Geofisica e
Vulcanologia

Aumento di produzione di petrolio del campo di Weyburn previsto in 25 anni tramite stoccaggio di CO₂



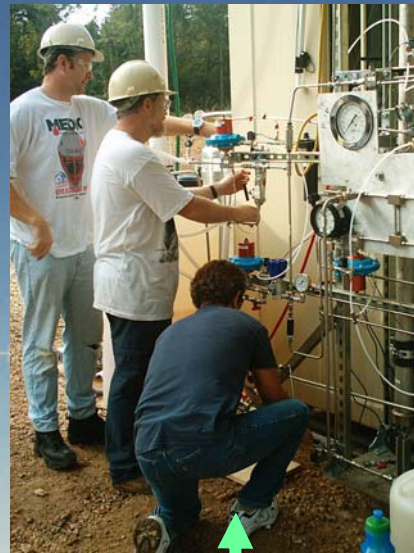
(5000 tonn/day)

Urgente e necessario: EOR, EGR, NGP (Natural Gas Pressurization) con CO₂



**87 EOR fields in USA: enhanced oil production since '90: now....
Cooptimizzation between CO₂-EOR and GHG abatment**

Monitoring of CO₂ evolution at depth in the frame of the Weyburn IEA-EC

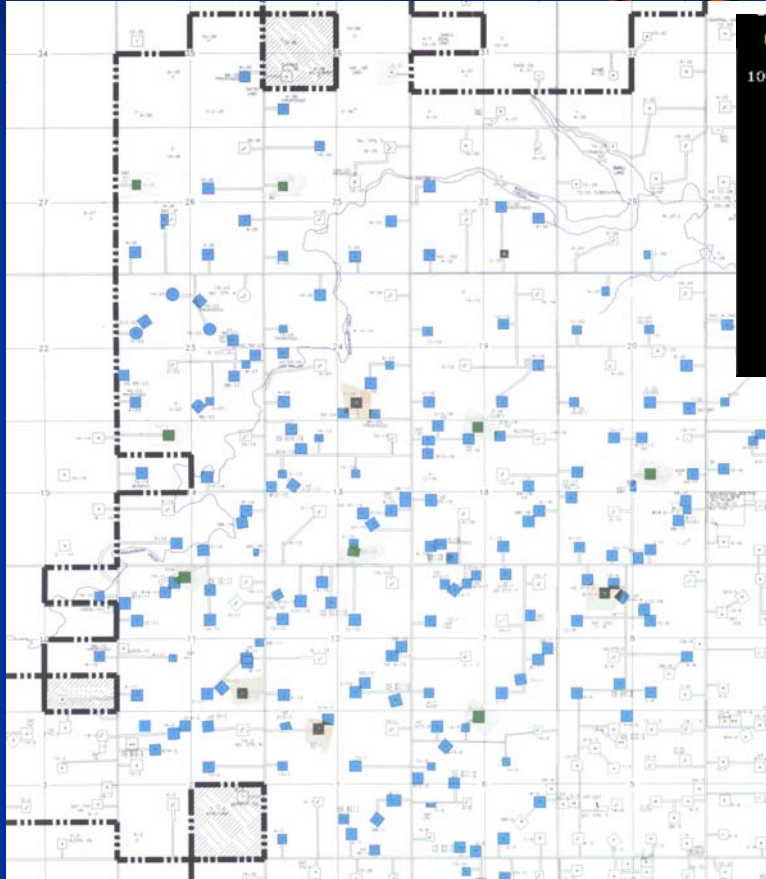
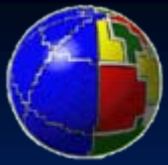


Next step: LBNL U-tube sampling
as in the Frio Project (Texas)

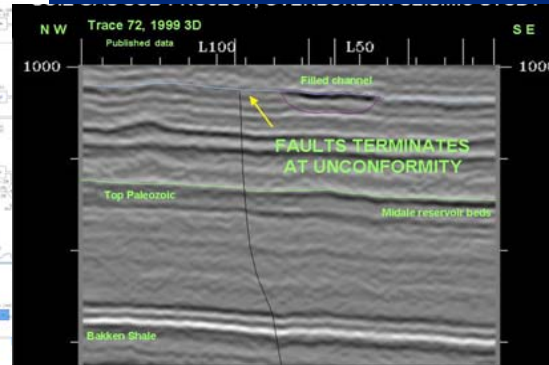
OIL WATER SURVEYS

- **“Baseline” August 2000**
- **M 1 = March 2001**
- **M 2 = July 01**
- **M 3 = September 01**
- **M 4 = March 02**
- **M 5 = June 02**
- **M 6 = Sept. 02**
- **M 7 = April 03**
- **M 8 = June 03** (1.7 MI m³ CO₂)
- **M 9 = Sept. 03**
- **M 10 = March 04**
- **M11 = June 04**
- **M 12 = Sept. 04**

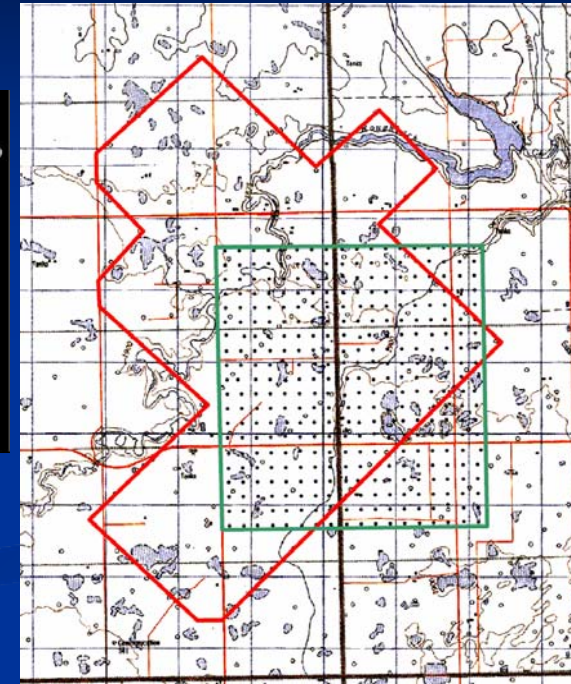
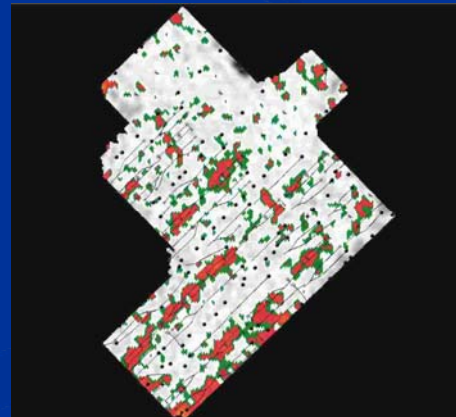
“Public Acceptance”: INGV monitoring of deep reservoir and soil gases to discriminate CO₂ seepage and leakage



“Oil waters”



“Soil gas”



“Reservoir” profondo tramite sismica 4D and microseismicity

Modellizzazione geochimica del reservoir di iniezione di CO₂

Predictive computer modelling

Preliminary geochemical calculations for confidence building

Calculation of CO₂ solubility in Weyburn brines
BRGM, completed

Geochemical modelling exercise for cross-comparison purposes
BRGM, completed

Geochemical modelling of laboratory experiments and field monitoring data

Geochemical modelling of BGS batch & column experiments
BRGM, just started

Geochemical modelling of GEUS coreflood experiments
BRGM, just started

Geochemical modelling of INGV field monitoring data
INGV, under progress

Long term predictions at field scale

2D modelling of natural fluid flow within the Mississippian aquifer
BRGM, completed

1D reactive transport in the Midale reservoir
BRGM, start January 2004

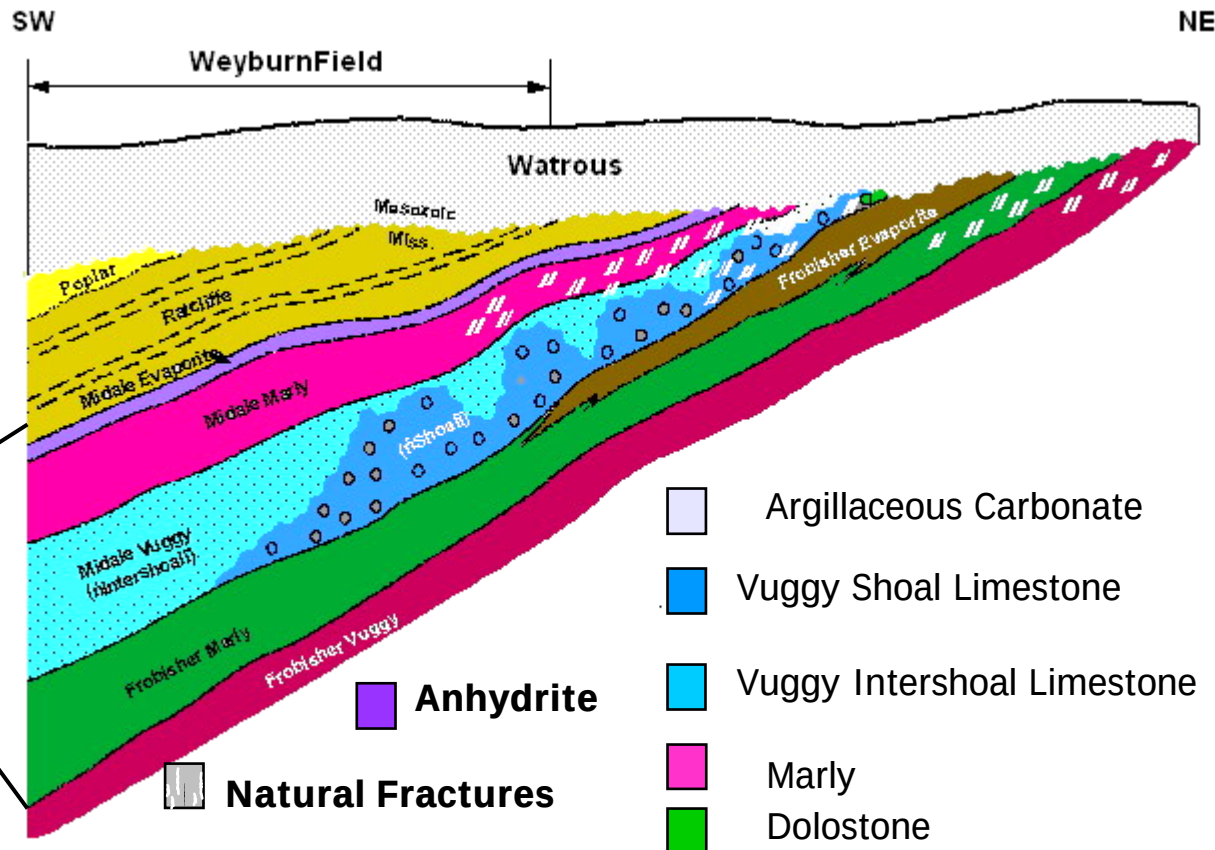
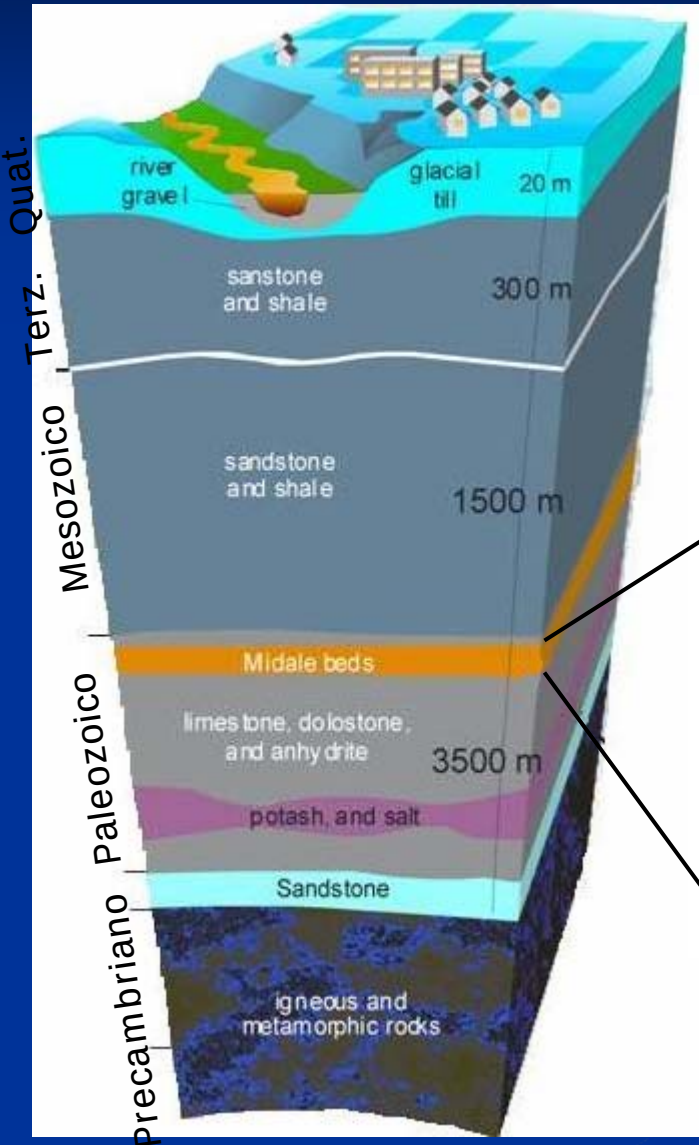
1D reactive diffusion in the Watrous caprock
BRGM, start January 2004

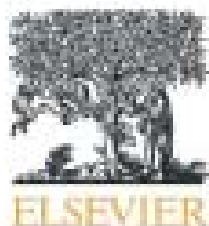
Modellizzazione geochimica del reservoir di iniezione di CO₂

Per fluidi profondi è un importante strumento per:

- ❖ valutare le condizioni di equilibrio tra le fasi presenti mediante l'utilizzo dei database termodinamici per il calcolo degli indici di saturazione e l'attività delle specie ioniche in fase liquida
- ❖ ricostruire le variazioni chimico-fisiche delle fasi in situazioni di NON-EQUILIBRIO a breve e lungo termine

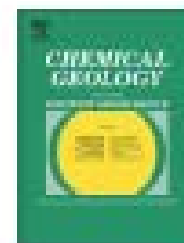
Separate calculation for the 2 reservoir rocks in Weyburn: Marly and Vuggy





Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Geology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemgeo

Geochemical modeling of CO₂ storage in deep reservoirs: The Weyburn Project (Canada) case study

Barbara Cantucci^{a,*}, Giordano Montegrossi^b, Orlando Vaselli^{b,c}, Franco Tassi^c,
Fedora Quattrocchi^a, Ernie H. Perkins^d

^a INGV, Fluid Geochemistry Lab, Rome 1 Section, Via di Vigna Marata 605, Rome, 00143, Italy

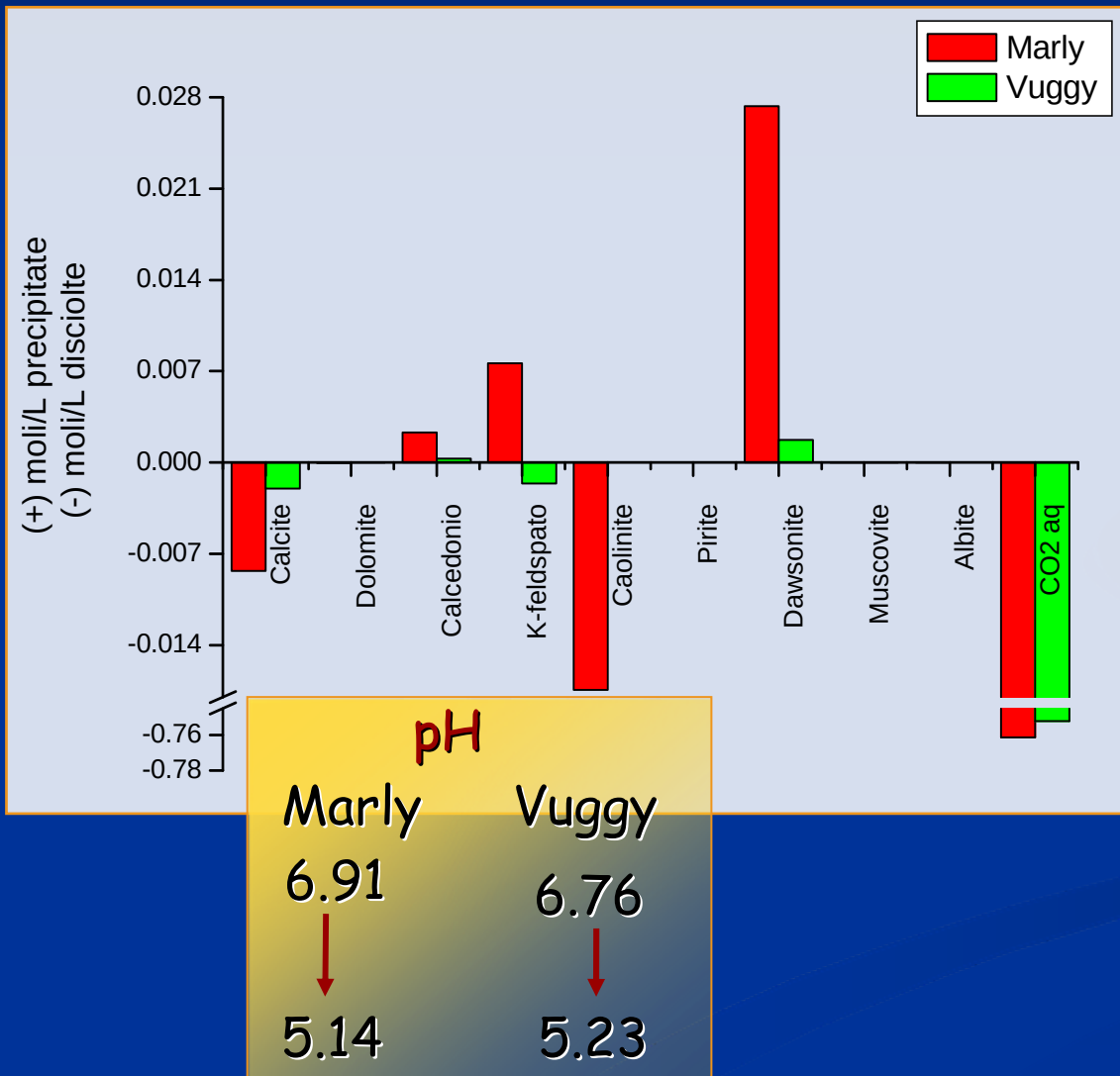
^b CNR - IGG, Institute of Geosciences and Earth Resources, Via La Pira 4, 50121 Florence, Italy

^c Department of Earth Science, Via La Pira 4, Florence, 50121, Italy

^d Alberta Research Council, 250 Karl Clark Road, Edmonton, Alberta, Canada T 6N 1S4



Impatto Geochimico dell'iniezione di CO_2 dopo 100 anni



CO_2 iniettata:

1.23 moli/L nel Marly

1.76 moli/L nel Vuggy

Solubility trapping:

0.761 moli/L nel Marly

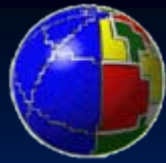
0.752 moli/L nel Vuggy

Mineral trapping

0.046 moli/L nel Marly

0.00148 moli/L nel Vuggy

Monitoraggio dei flussi di CO₂ e concentrazioni di geogas dal suolo: **LEAKAGE ??**

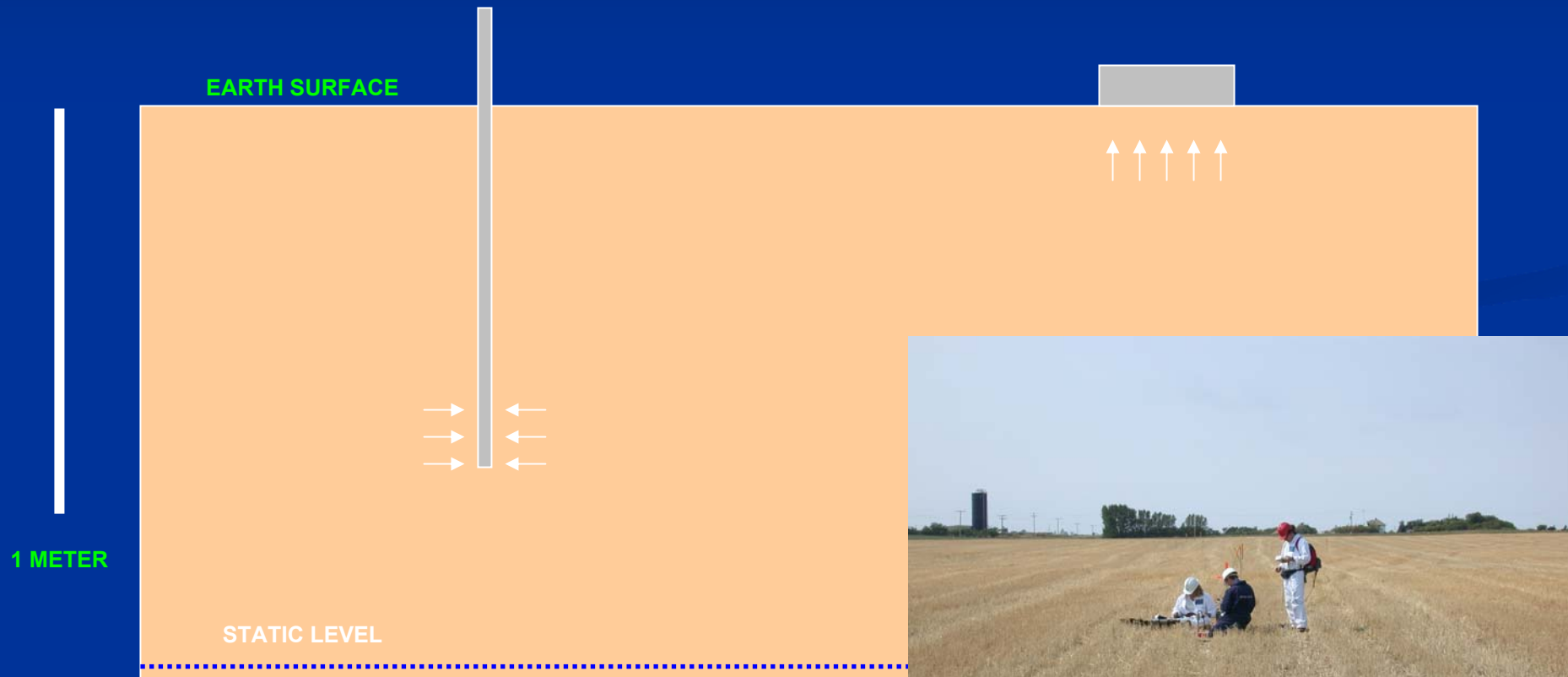


COMPOSITION

(sampling probe and laboratory analyses)

SOIL GAS FLUXES

(accumulation chambers)



Systematic soil gas measurements (INGV, BGS, Univ. Rome, BRGM) including CO₂, CO₂ flux, O₂, CH₄, radon, thoron, helium, sulphur species (COS) and light hydrocarbons (CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈ and C₄H₁₀). Data from July-September 2001 provided baseline values up to 2005.

E IN ITALIA ?

Quotidiano

Diffusione: mil.

Lettori: mil.

PREALPINA

Direttore: Roberto Ferrara

16-MAR-2008

da pag. 28

SCIENZE

Eni ed Enel alleate per catturare l'anidride carbonica

Fuori dalla crisi, per una nuova crescita

Lo sviluppo della capacità di approvvigionamento deve essere perseguito anche con una pluralità di provenienze per il gas e una pluralità di fonti primarie per la generazione di elettricità. È per questo che puntiamo alla costruzione di nuovi gasdotti e terminali di rigassificazione del gas naturale liquefatto (GNL), che dunque potrebbe essere importato via nave da qualsiasi parte del mondo e rigassificato in loco attraverso un'infrastruttura accessibile a tutti e non solo a chi la possiede.

Per la riuscita delle azioni sopra indicate è indispensabile restituire all'Autorità garante per il gas e l'energia elettrica la pienezza dei suoi poteri originari, intaccata negli cinque ultimi anni da numerosi provvedimenti legislativi, prevedendo tuttavia anche maggiori obblighi di rendicontazione al Parlamento. In particolare, vogliamo un sistema di regolazione che preveda, attraverso appropriati soggetti istituzionali, la tutela tariffaria e la sicurezza del servizio per gli utenti domestici. Proponiamo inoltre una riforma della tariffa sociale dell'elettricità che aggiorni l'attuale meccanismo, vecchio e inefficiente.

Quanto alle "nuove fonti rinnovabili" (eolico, biomasse, fotovoltaico, solare a concentrazione, solare termico, idroelettrico di piccola taglia, geotermia), vogliamo nell'arco della legislatura siano almeno raddoppiate, in modo da giungere al 2011 al 25% di produzione elettrica da rinnovabili. A tal fine, applicando correttamente le direttive comunitarie e utilizzando le migliori esperienze europee, si potrà rivedere il sistema d'incentivazione delle fonti rinnovabili e favorire il passaggio dai certificati verdi a tariffe certe, incentivanti per un numero definito di anni, differenziate per le diverse fonti.

Nel settore della ricerca sulle energie sostenibili, crediamo che un ruolo di rinnovata centralità spetti all'ENEA: un prezioso patrimonio di esperienze lasciato per troppo tempo nell'abbandono. Puntiamo inoltre allo sviluppo di appositi centri di eccellenza per il settore energetico e ambientale che svolgano attività di ricerca e diffusione tecnologica. In particolare riteniamo che vadano intensificati gli sforzi di ricerca su "sequestro del carbonio", sull'idrogeno "verde", sulle celle a combustibile. Una presa del programma nucleare in Italia oggi non è proponibile. Circa l'energia nucleare, il nostro impegno per la riduzione del rischio è orientato a produrre:

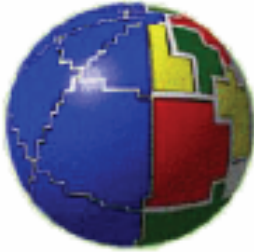
- azioni di messa in sicurezza del combustibile e delle scorie esistenti in Italia;
- la partecipazione in sede internazionale alla ricerca sul nucleare pulito di nuova generazione.

Infine, proponiamo la realizzazione di un Programma energe-



Foto del recente Stand "CO2 sequestriamola" al Festival della Scienza Genova

INGV: CCS Public Acceptance



ETP ZEP
European Technology Platform on
Zero Emission Fossil Fuel Power Plants

DRAFT

Communication Strategy for a public Information Campaign on CO₂ storage: the case history in Italy from 2003 to 2007

Quattrocchi F., INGV, Rome, Italy

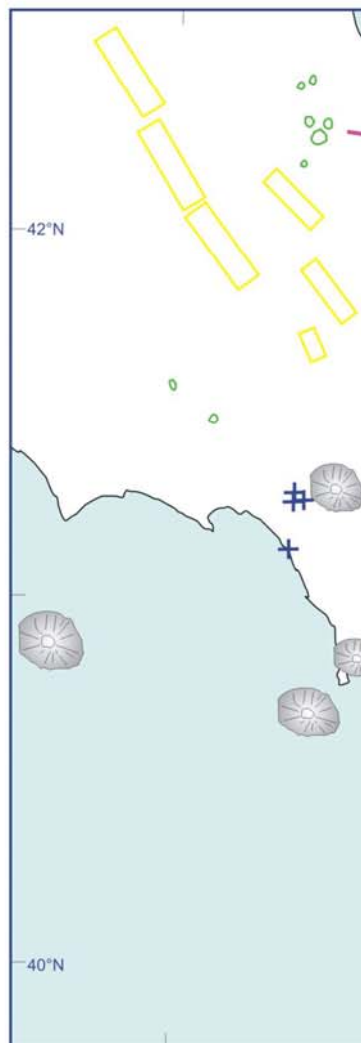
quattrocchi@ingv.it

Italian Member of Eu ZEP Groups 2 and 5



INGV

Independent 
Energy Solutions srl



LEGEND

- Volcano
- Buried front of deformed carbonate platform
- Nearly pure CO₂
- CO₂ + condensate
- CO₂ + CH₄
- CO₂ vent
- Oil field
- Gas field
- Seismogenic source

DDS Mefite
D'Ansanto (la più grande
DDS in Europa: 1000 tonn CO₂/giorno)

Catalogo INGV-UniRoma3 dei potenziali siti di stoccaggio geologico di CO₂ sul territorio italiano.

Esempio di calcolo di capacità di una potenziale struttura

a cura di

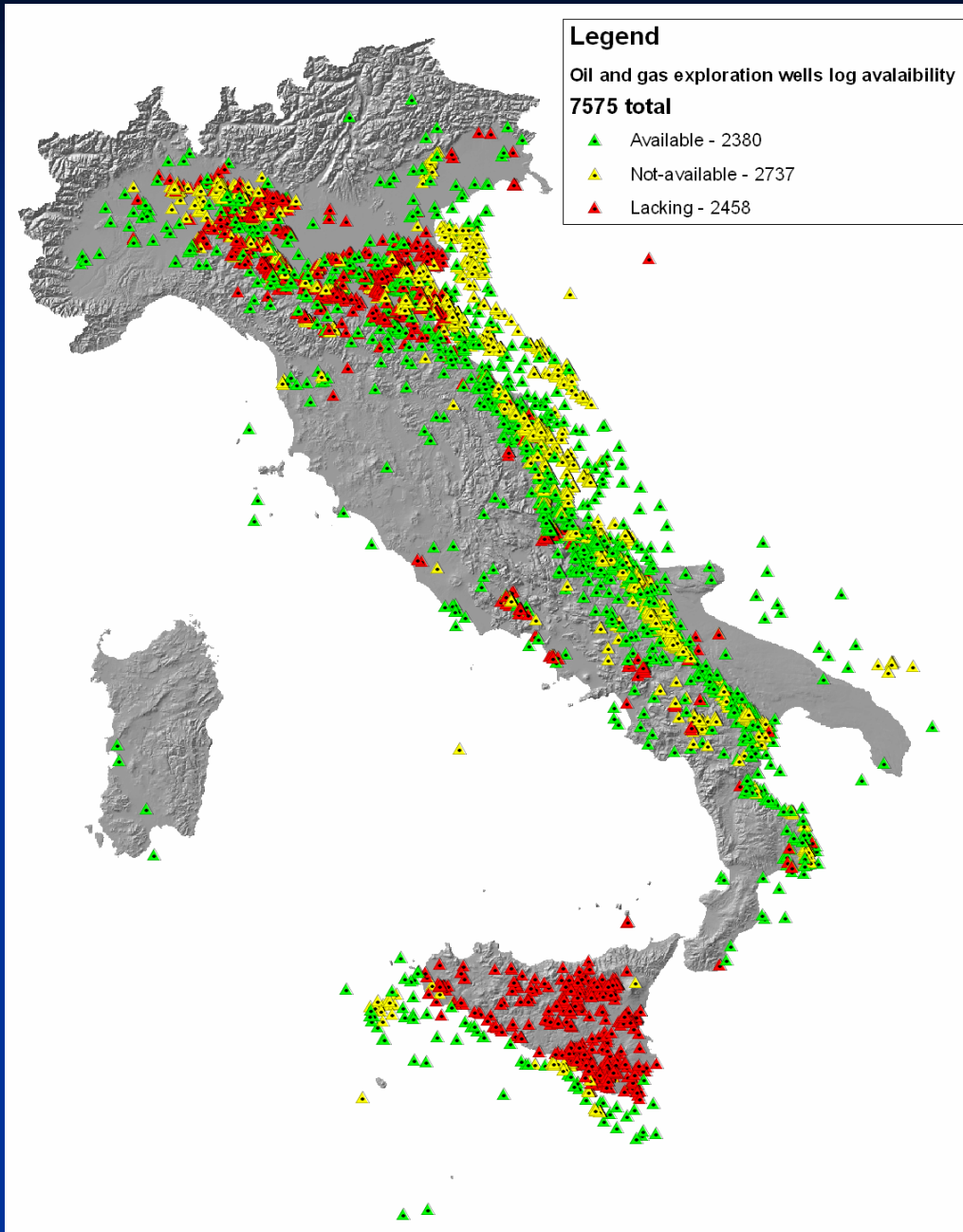
Quattrocchi F.⁽¹⁾, Buttinelli M.^(1,2), Procesi M.⁽²⁾, Cantucci B.⁽¹⁾

⁽¹⁾ INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
UF Geochimica dei fluidi, Stoccaggio Geologico e Geotermia

⁽²⁾ Università degli studi Roma3, Dipartimento di Scienze Geologiche



INGV-UniRoma3 CO₂ storage sites catalog

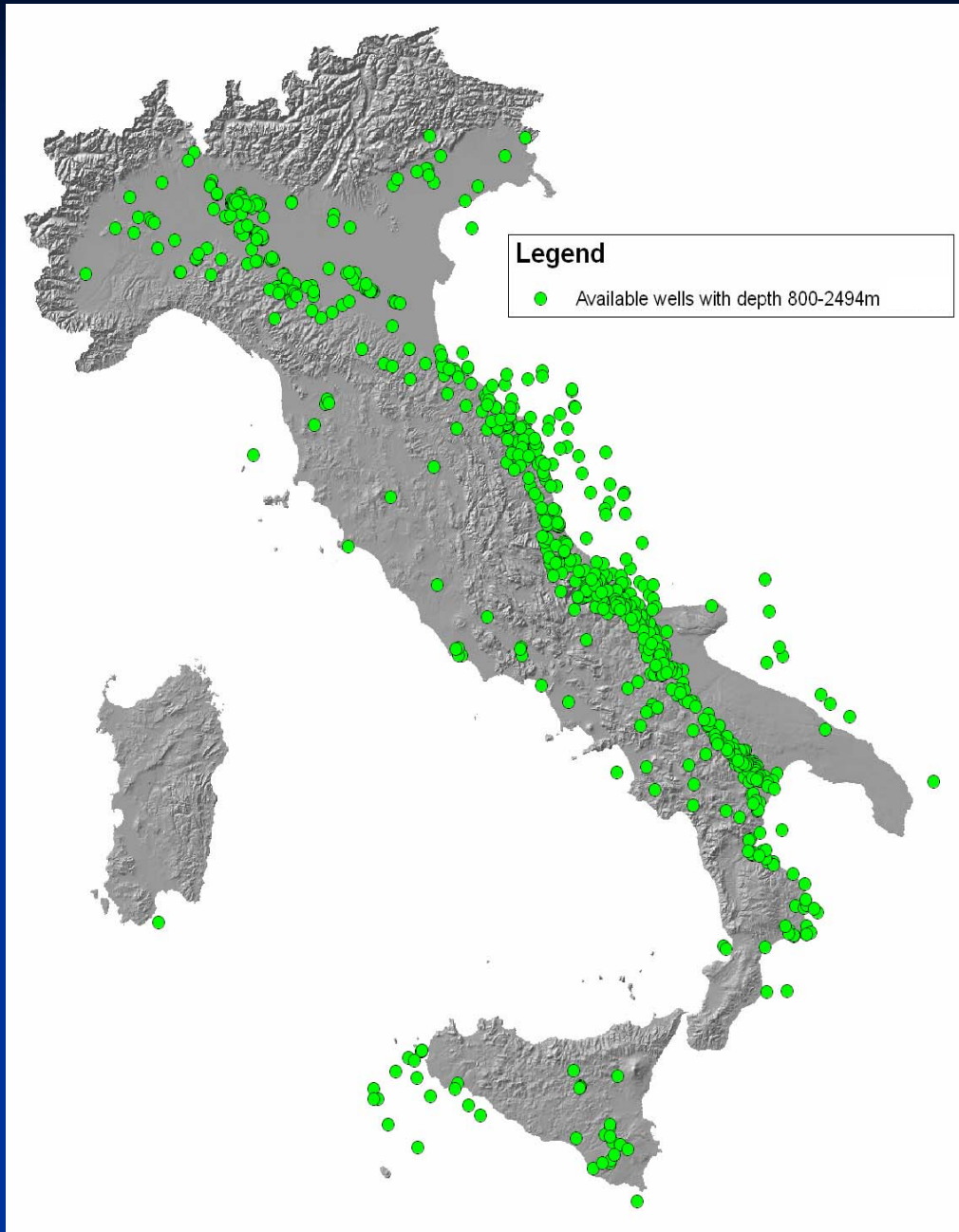


Oil and gas exploration wells log availability

7575 wells total

- Available (2380)
- Existing but not-available (2737)
- Lacking (2458)

INGV-UniRoma3 CO₂ storage sites catalog – DATABASE CREATION



Wells data sub-dataset

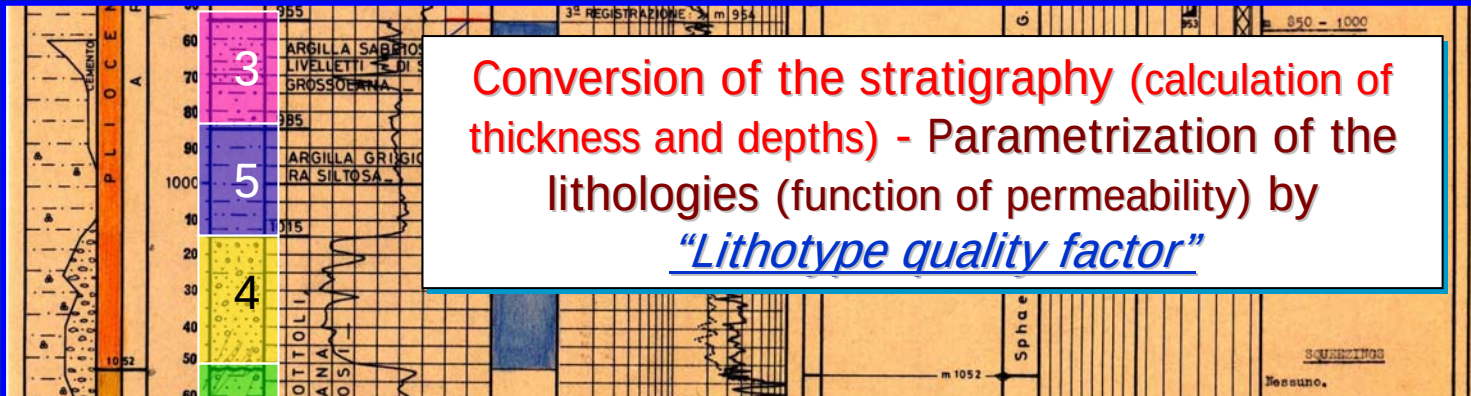
2380 wells
with available
log



819 have a deep
aquifer and depth
between 800 and 2500m
(economical feasibility)

Wells Database Creation: Cap-rock and aquifer characterization

Well
composite
Log



Aquifer/s
characterization:

- Lithology
- Depth
- Fresh or salt water
- fluids and/or gas analysis
- borehole deep tests in aquifer

SW

Parametrizzazione e classificazione del caprock dei pozzi in funzione dell' Fbp (Fattore bontà pozzo)

Parametrizzazione litotipi
(funzione della permeabilità)

Classi Cl_i

- 1- conglomerati, ghiaie e depositi alluvionali
- 2 - Arenarie, carbonati, rocce intrusive, rocce metamorfiche
- 3 - Marne e sedimenti flyschoidi (Sabbie argillose)
- 4 - Marne argillose, Argille sabbiose, Argille scagliose
- 5 - Argille, Argille gessose, Rocce evaporitiche



Parametrizzazione attraverso Fb_i
Factor (Fattore bontà del litotipo)

Funzione della litologia (Cl_i),
dello spessore (Sp_i), e dello
spessore ideale di copertura
(Sp_c , 800 metri, condizione di
supercriticità della CO₂)

$$Fb_i = \frac{Cl_i \cdot Sp_i}{Sp_c}$$

Esempio 1:

Litotipo: Argilla del Santerno ($Cl_i = 5$)

Spessore: 1150m (Sp_i)

$$Fb_i = 5 \cdot 1150 / 800 = 7,2 \Rightarrow Fb_i = 5$$

Esempio 2:

Litotipo: Arenarie di S.Mauro ($Cl_i = 2$)

Spessore: 460m (Sp_i)

$$Fb_i = 2 \cdot 460 / 800 = 1,15 \Rightarrow Fb_i = 1$$

Parametrizzazione e classificazione del cap-rock dei pozzi in funzione dell' Fb_p (Fattore bontà pozzo)

Criteri di definizione Fb_p

- Viene considerata come copertura la successione di formazioni poste sopra l'acquifero potenziale sede di iniezione
- Numero elevato di situazioni geologiche
- Impossibile creare un algoritmo che consideri tutte le possibili situazioni
- Analisi caso per caso:
 - Litotipo con $Fbi = 4/5$ e spessore > 800 m $\Rightarrow Fbp = 4/5$
 - Alternanze di litotipi con $Fbi = 4/5$ (spessore totale > 800 m) $\Rightarrow Fbp = 4/5$ del litotipo prevalente
 - Spessore consistente di litotipo impermeabile ($Fbi = 4/5$) posto a profondità elevate (> 800 m) sopra l'acquifero: spessore maggiore di 400m $\Rightarrow Fbp = 4/5$
spessore minore di 400 m $\Rightarrow Fbp = 4/5 - 1$

$$Fbp = 5$$

(maximum security situation)

Unique low-permeability caprock
Lithotype at least 800 m thick

850m

Santerno clays
(C_{li}=5)

450m

Sandstones with
deep saline
aquifer

350m

Claystones
(C_{li}=5)

200m chalky
clays (C_{li}=5)

550m marly
clays (C_{li}=4)

450m

Sandstones with
deep saline
aquifer

$$Fbp = 4$$

Several low-permeability
caprock Lithotypes (total
thickness > 800m).
F_{bp}=F_{bi} of thicker lithotype

250m Alluvial
deposits (C_{li}=1)

800m marly
sandstones (C_{li}=3)

450m clays (C_{li}=5)

200m Sandstones
with deep saline
aquifer

$$Fbp = 5$$

low-permeability cap-rock
lithotype > 400 m thick at
high depth (> 800m)
above the aquifer

$$Fbp = 4$$

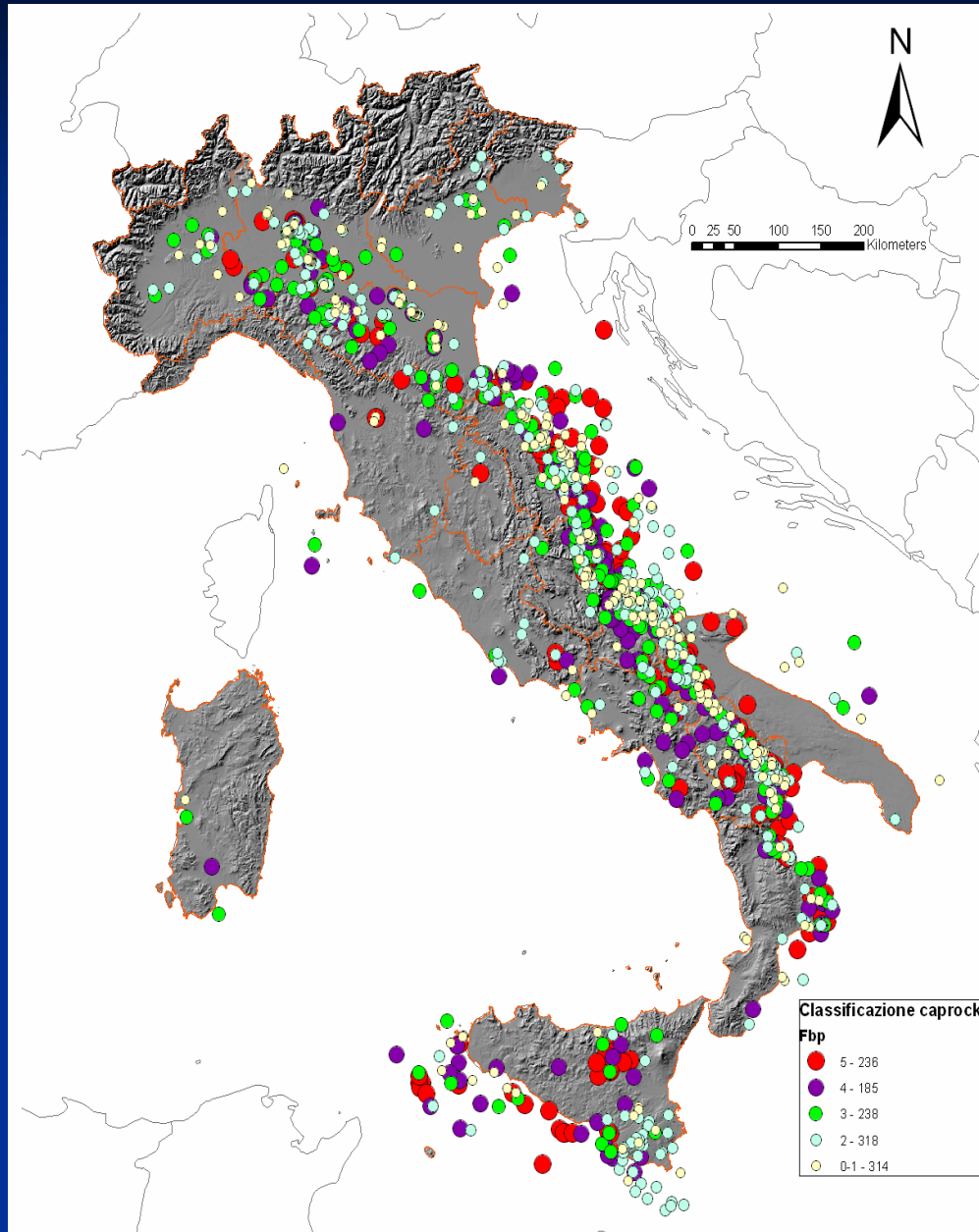
low-permeability cap-rock lithotype
< 400 m thick at high depth (>
800m) above the aquifer

1200m sandstones (C_{li}=2)

300m chalky clays (C_{li}=5)

Sandstone deep aquifer

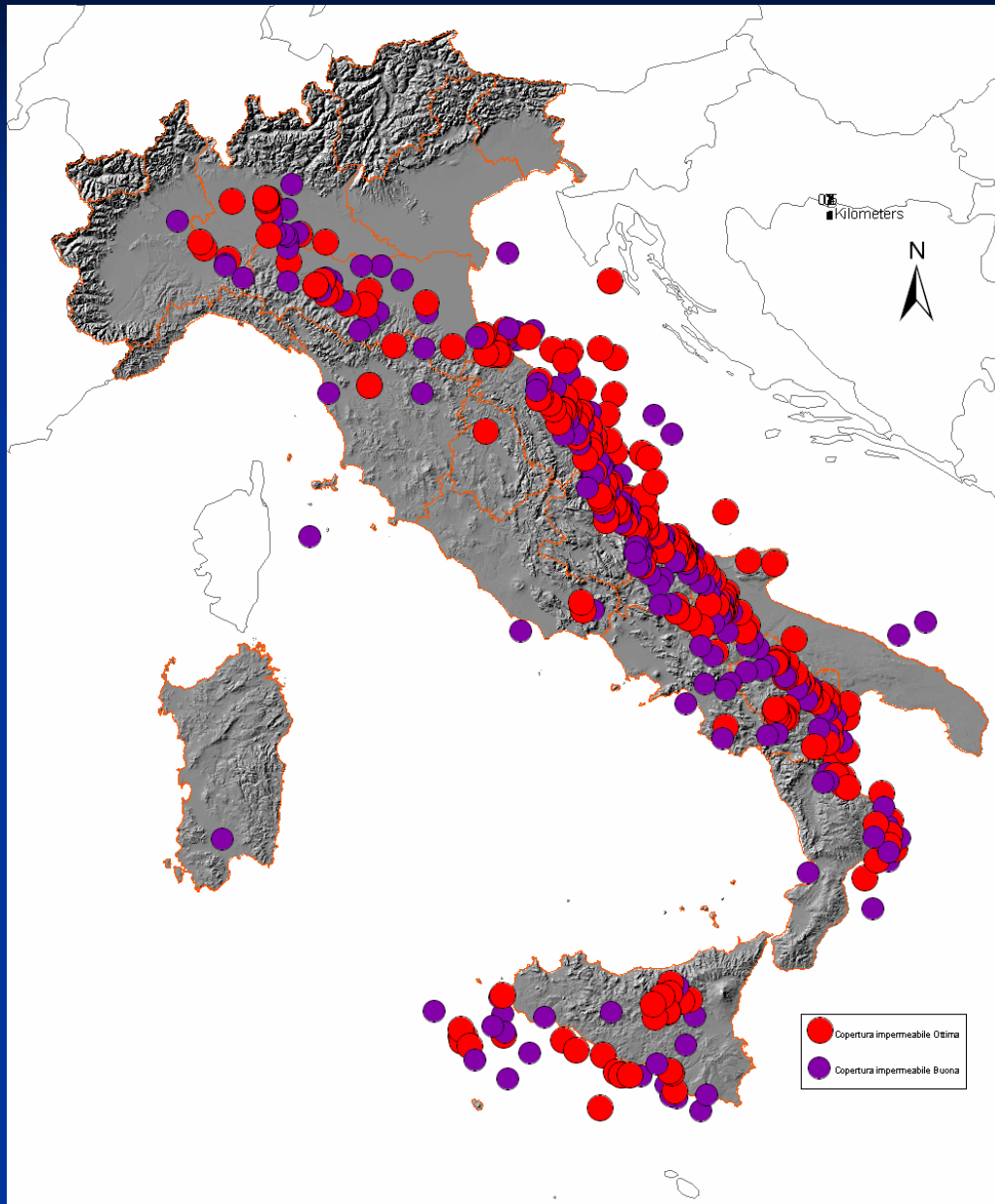
Fb_p Projection on a GIS platform



819 total composite log analysed

- $Fb_p=5$ n.236
- $Fb_p=4$ n.185
- $Fb_p=3$ n.238
- $Fb_p=2$ n.318
- $Fb_p=1$ n.214
- $Fb_p=0$ n.196

Fb_p Projection on a GIS platform

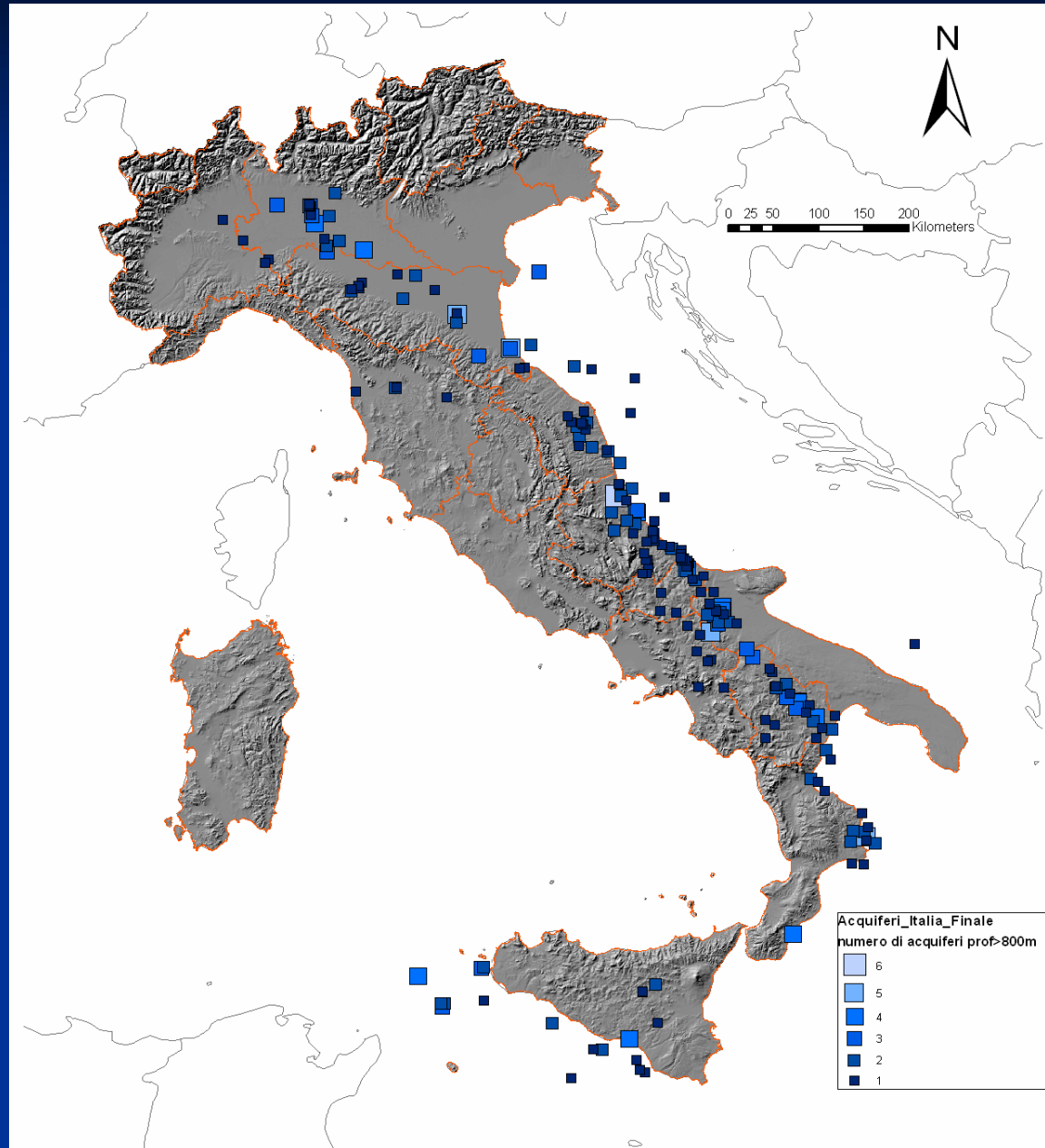


421 wells with Fbp 4 - 5

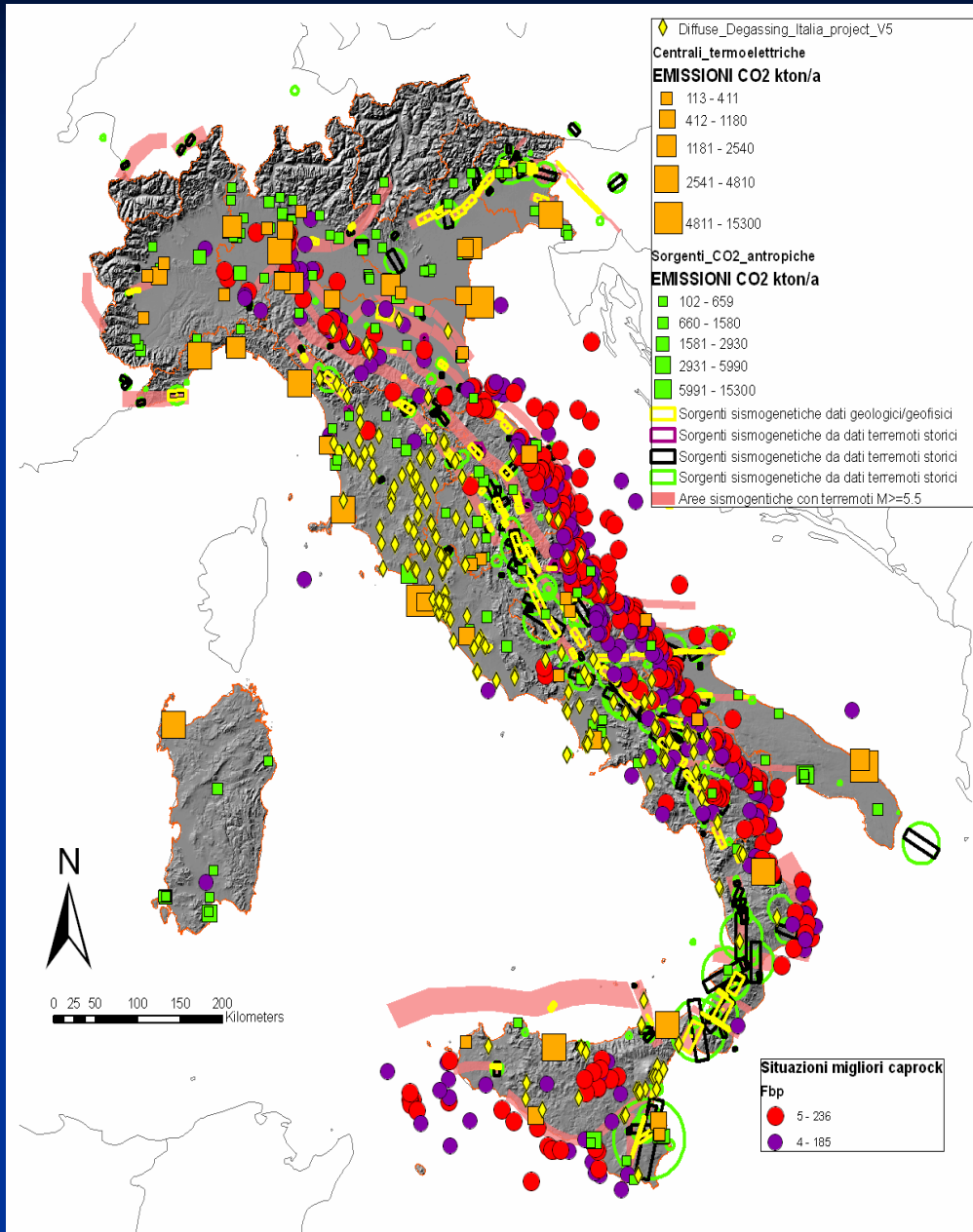
- Fbp=5 n. 236
- Fbp=4 n. 185

Good and optimal caprock situation

Distribuzione degli acquiferi salini



Risk Assessment: micro-sismicità e leakage



Confronto della qualità del caprock e acquiferi salini con altri cataloghi associati ai rischi geologici per l'identificazione di potenziali aree da studiare con maggiore dettaglio

- Sismicità (Cataloghi CSI - CFTI - CPTI - NT 4.1 - ISIDE - WAVES)
- Sorgenti Sismogenetiche (DISS 3.0.2.2)
- Diffuse Degassing Structure catalogue

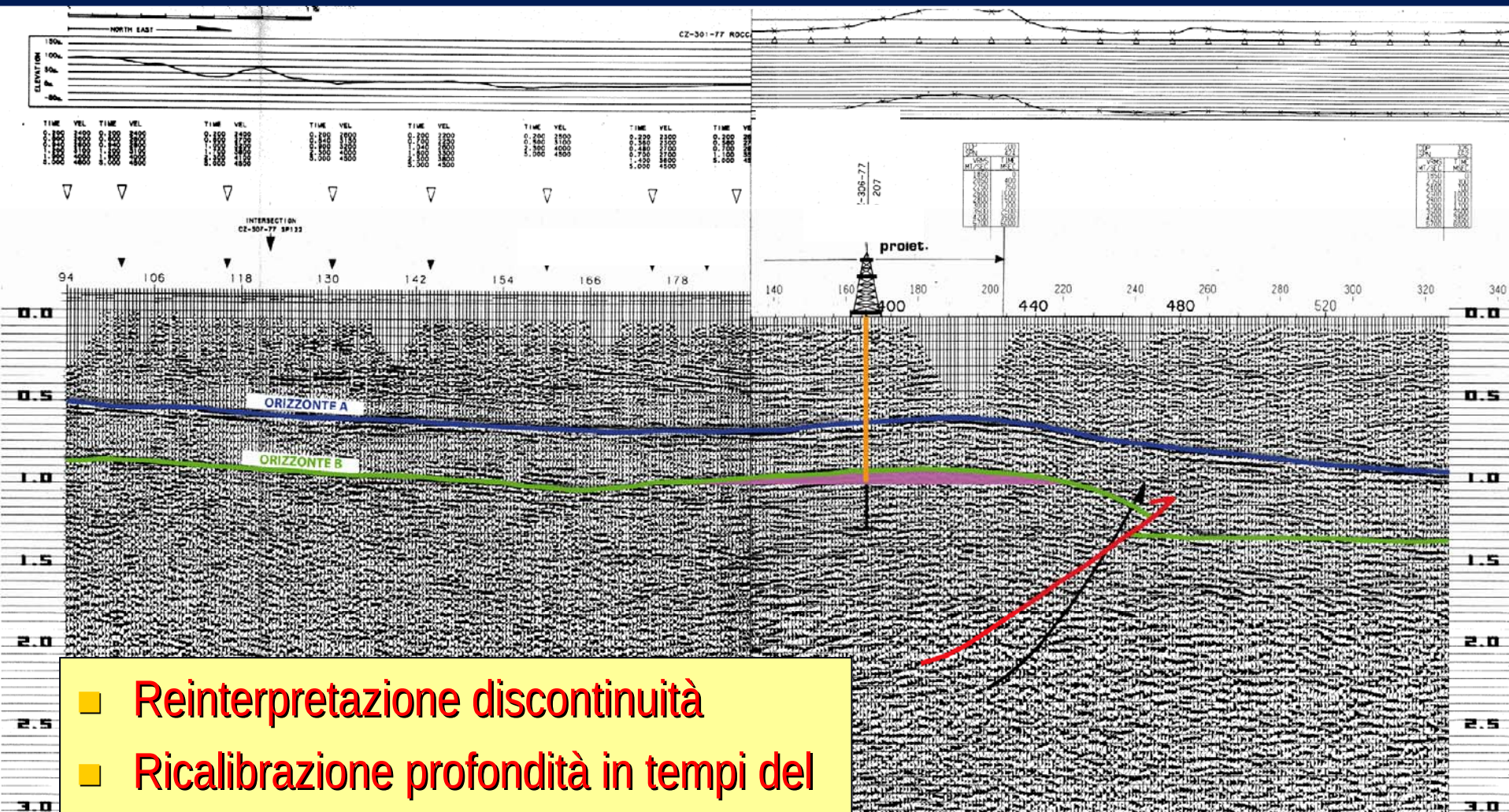


**IDENTIFICAZIONE DI AREE
POTENZIALMENTE IDONEE ALLO
STOCCAGGIO DI CO₂**

ESEMPIO

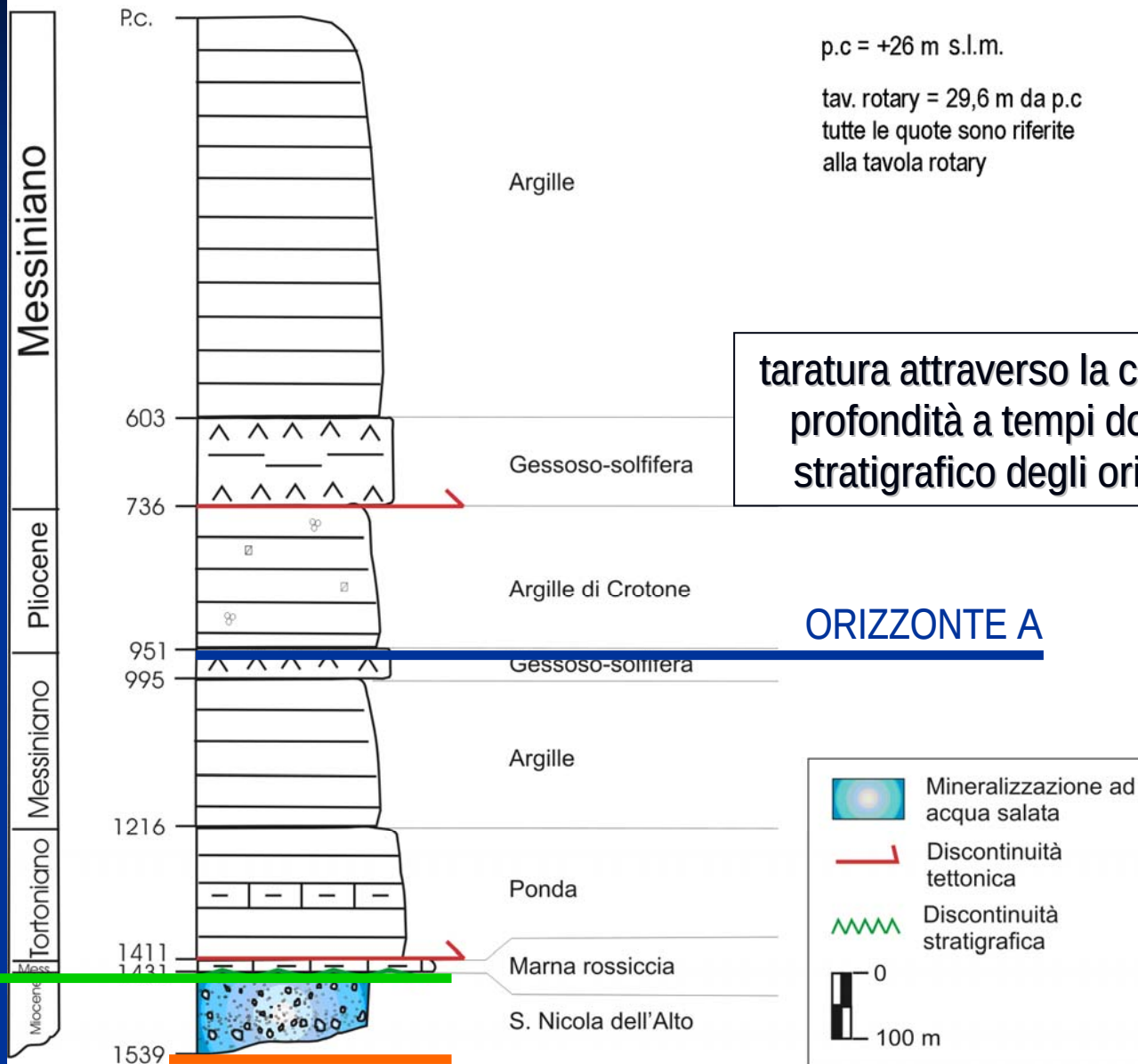
- **RICOSTRUZIONE 3D DI UNA
POTENZIALE STRUTTURA DI
INIEZIONE DI CO₂**
- **CALCOLO DI VOLUME**
- **CALCOLO DELLA CAPACITA' DI
STOCCAGGIO**

Reinterpretazione linee sismiche



- Reinterpretazione discontinuità
- Ricalibrazione profondità in tempi del pozzo
- Definizione geometria della trappola

ORIZZONTE B



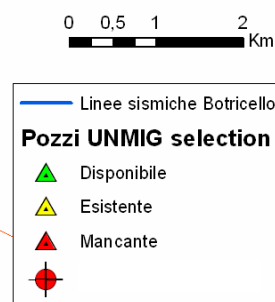
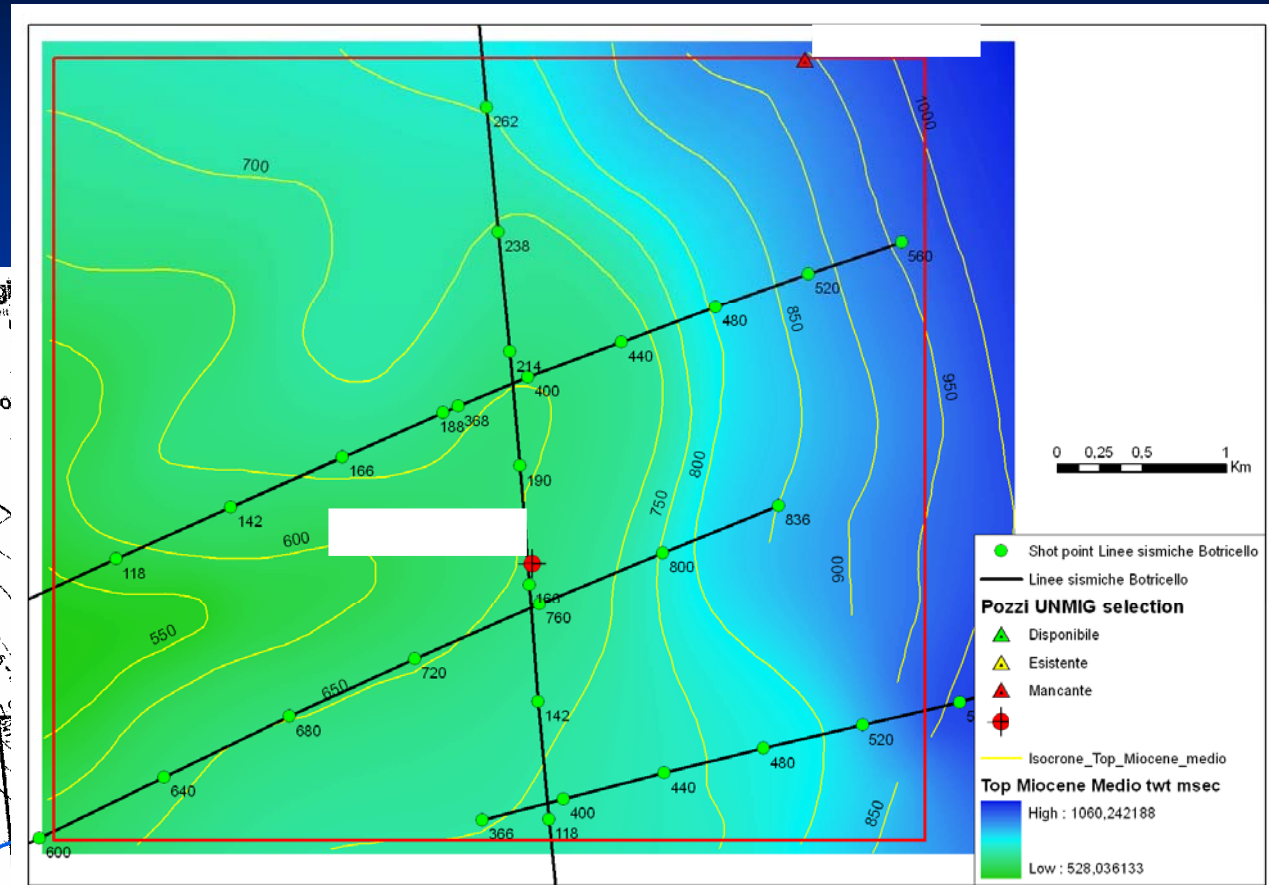
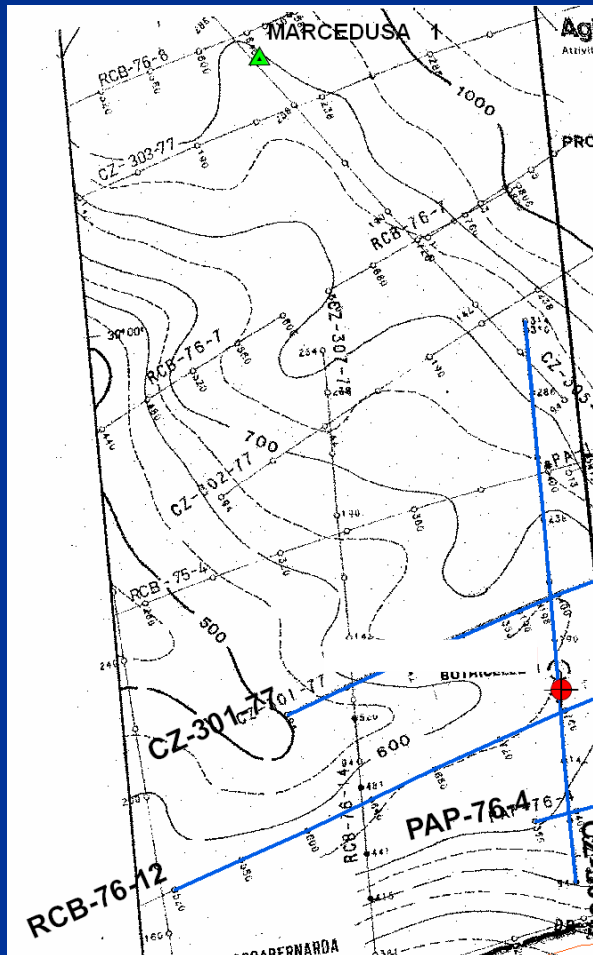
p.c = +26 m s.l.m.

tav. rotary = 29,6 m da p.c
tutte le quote sono riferite
alla tavola rotary

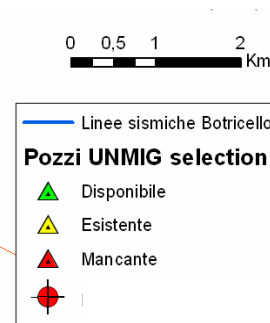
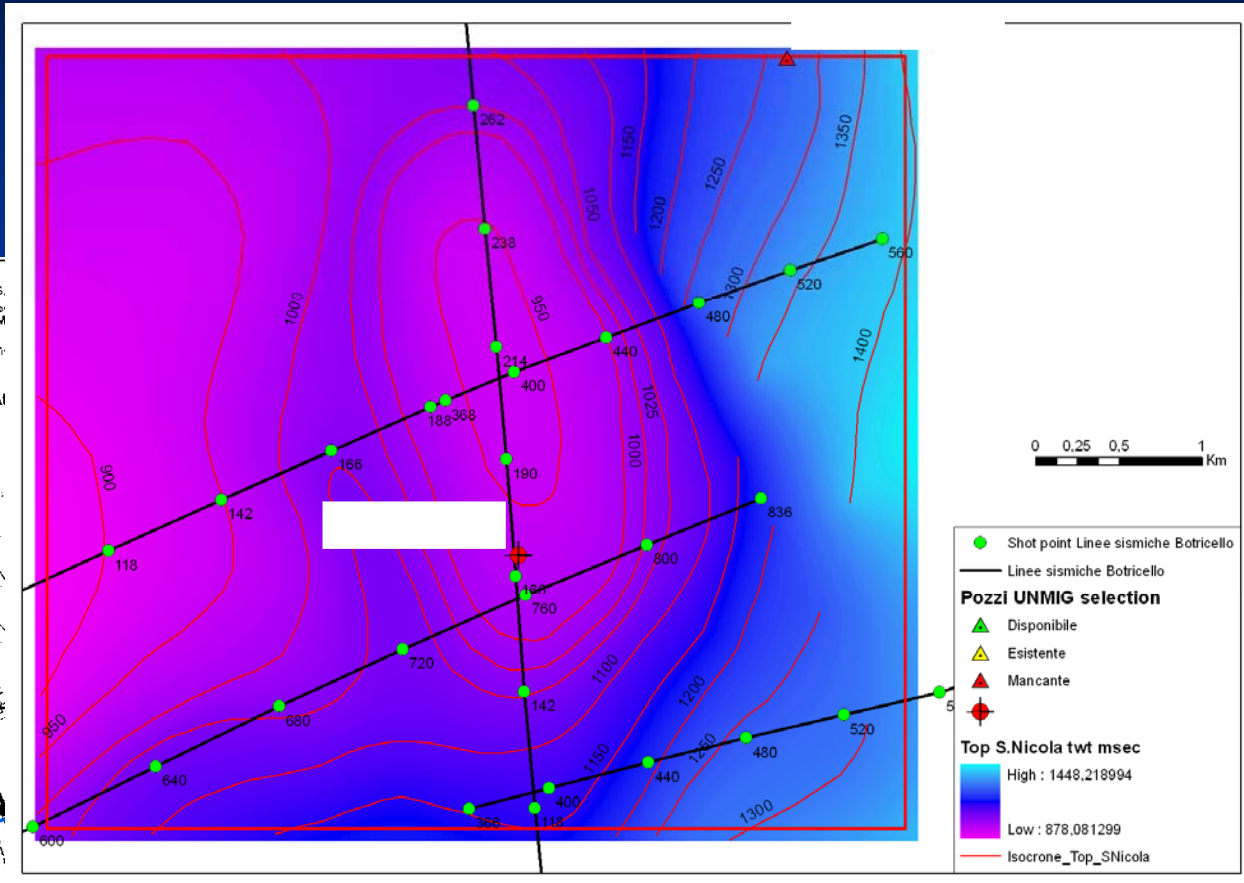
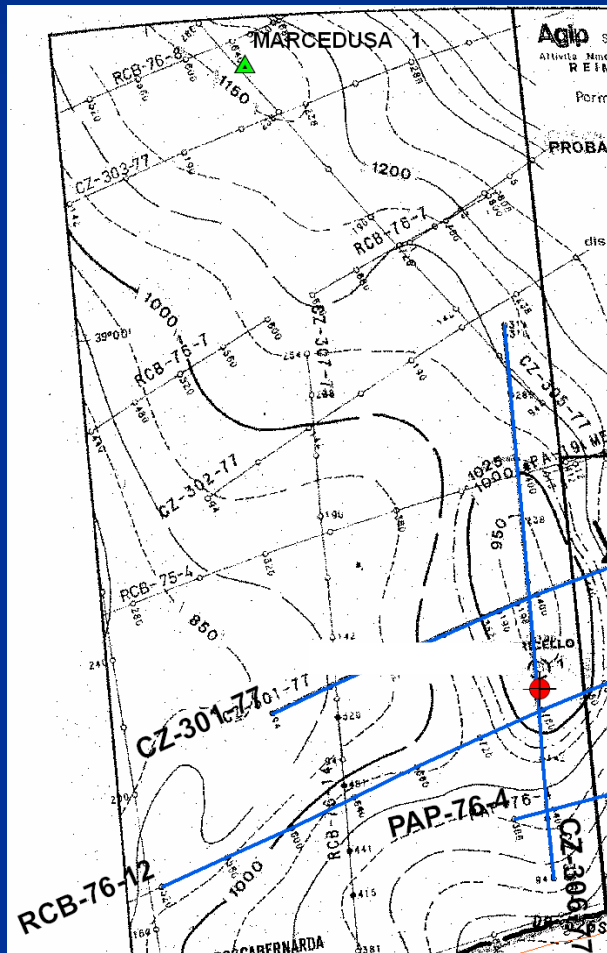
taratura attraverso la conversione da
profondità a tempi doppi del dato
stratigrafico degli orizzonti A e B

T.D. = 1,02 sec twt

Ricostruzione orizzonte A in tempi



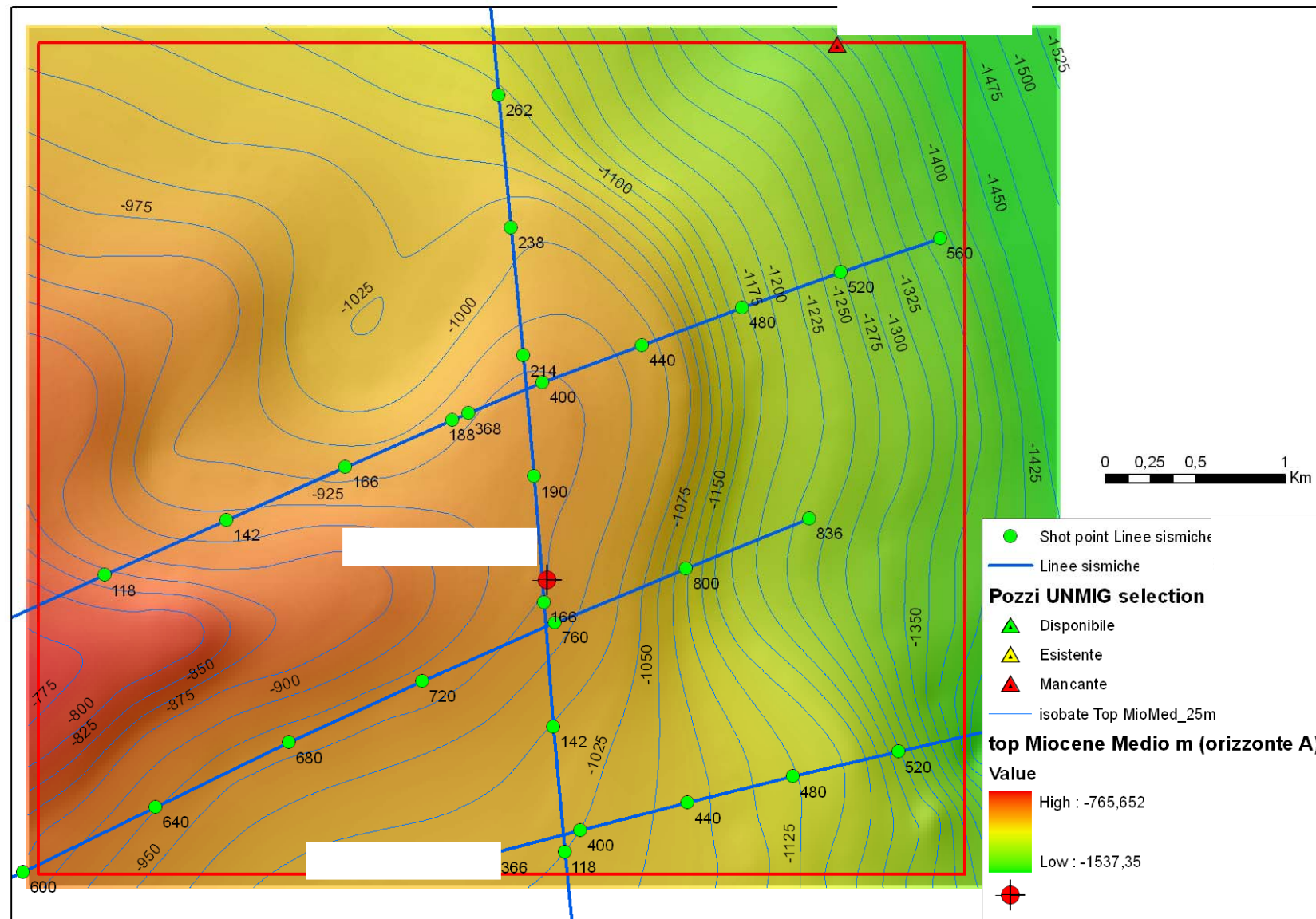
Ricostruzione orizzonte B in tempi



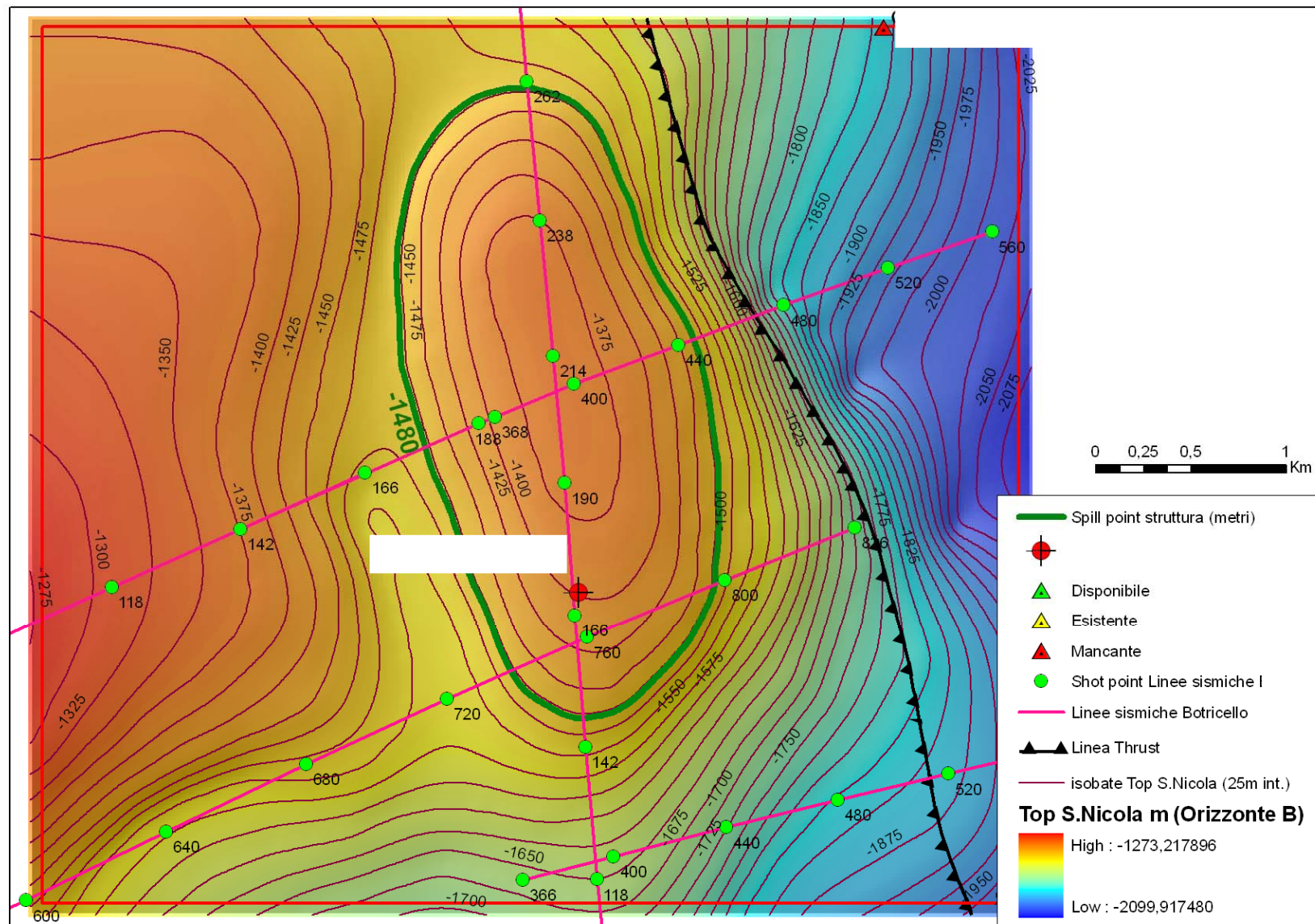
Conversione tempi-profondità orizzonti: Modello di velocità

		Coordinate testa pozzo (proiezione UTM32N, datum WGS84)		
		Easting	Northing	
		1187542	4342403	
RTE (m)	GL (m)	TD (m)		
29,5	26	1539		
Tops				
Età	Formazione	MD (m)	SSL (m)	TWT (s) TWT (s) calc
Messiniano (Indef)	Indefinibile	0	29,5	
	Sea level	29,5	0	0
Messiniano (Gess.-Solf.)	Gessoso-Solfifera	603	-573,5	0,39
Pliocene Inf (Argille Crotone)	Argille Crotone	736	-706,5	0,48
Messiniano (Gess.-Solf.)	Gessoso-Solfifera	951	-921,5	0,62
Messiniano (Indef)	Indefinibile	994	-964,5	0,65
Tortoniano (Ponda)	Ponda	1220	-1190,5	0,81
Messiniano (Indef)	Indefinibile	1411	-1381,5	0,94
Miocene Medio (San Nicola)	San Nicola	1431	-1401,5	0,965
TD	TD	1539	-1509,5	1,02
GL-Orizzonte B	Velocità intervallare (m/sec) = 2900			
Orizzonte B-TD	Velocità intervallare (m/sec) = 3500			

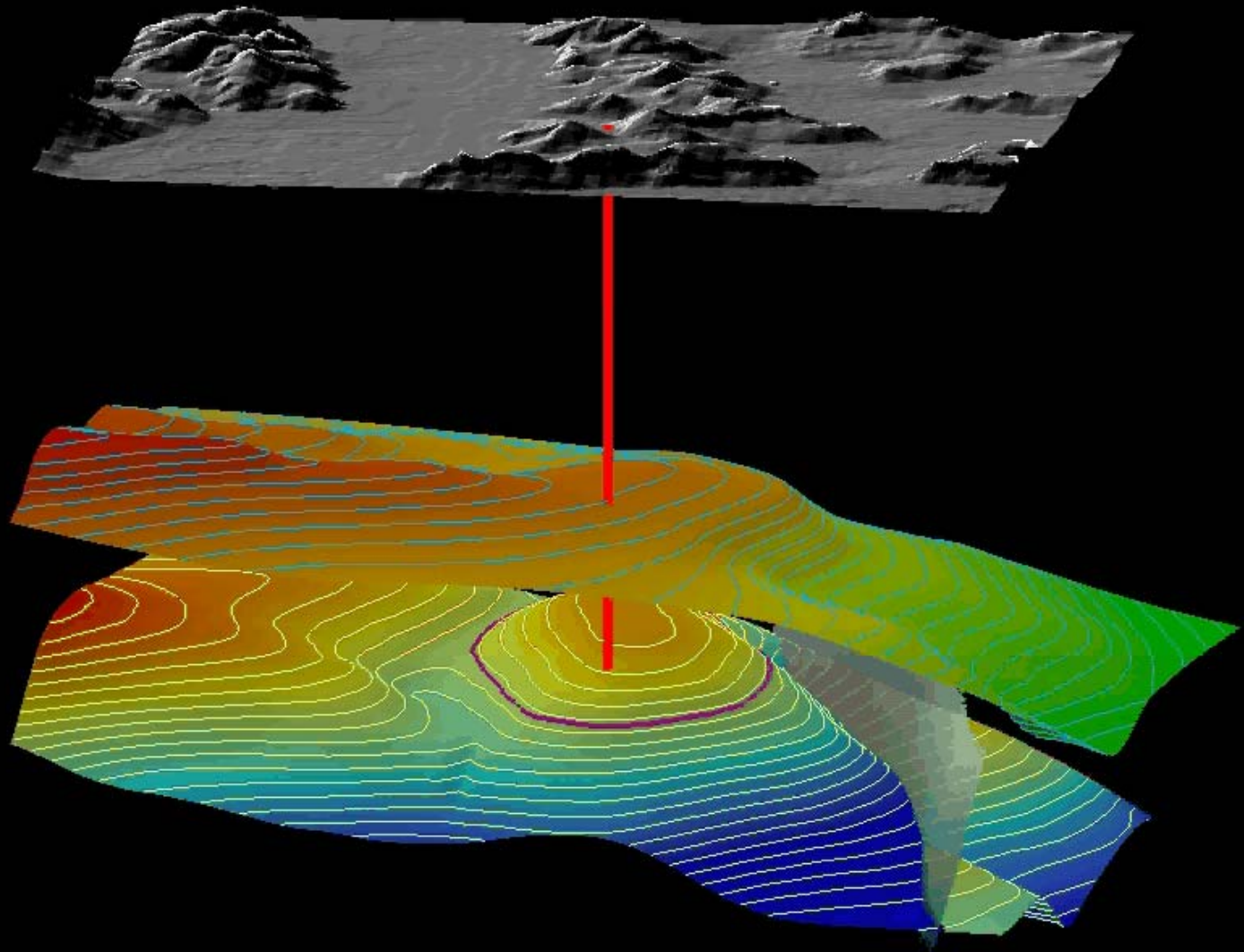
Depth conversion degli orizzonti A e B



Depth conversion degli orizzonti A e B

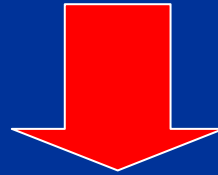


Modello 3D



Calcolo di volume

Bulk Volume compreso tra lo *spill point* della struttura (piano posto ad una quota prestabilita) e la superficie che costituisce il top del reservoir (contatto formazioni di reservoir e prima formazione di caprock)



Calcolo della capacità di stoccaggio di CO₂

Parametri petrofisici

Stima dalla capacità effettiva reservoir CO₂

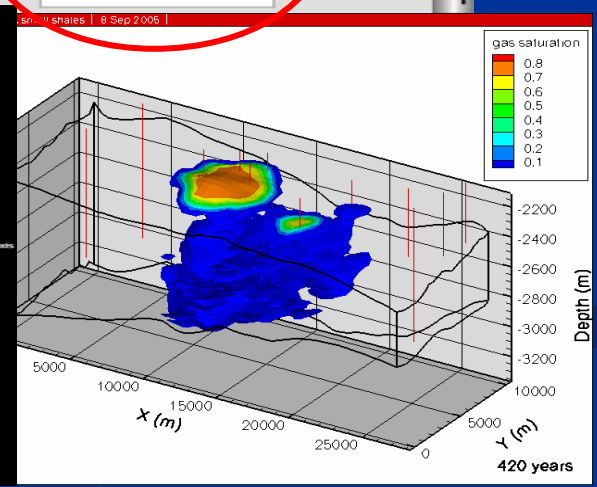
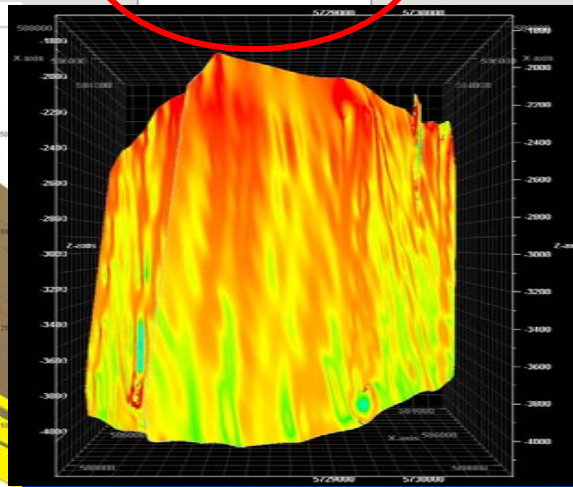
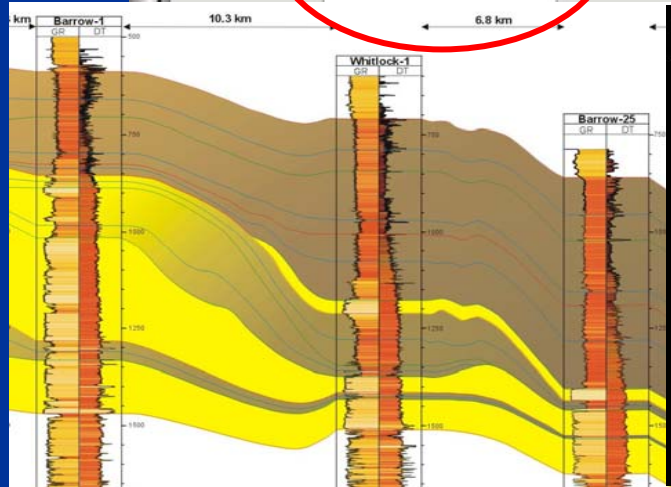
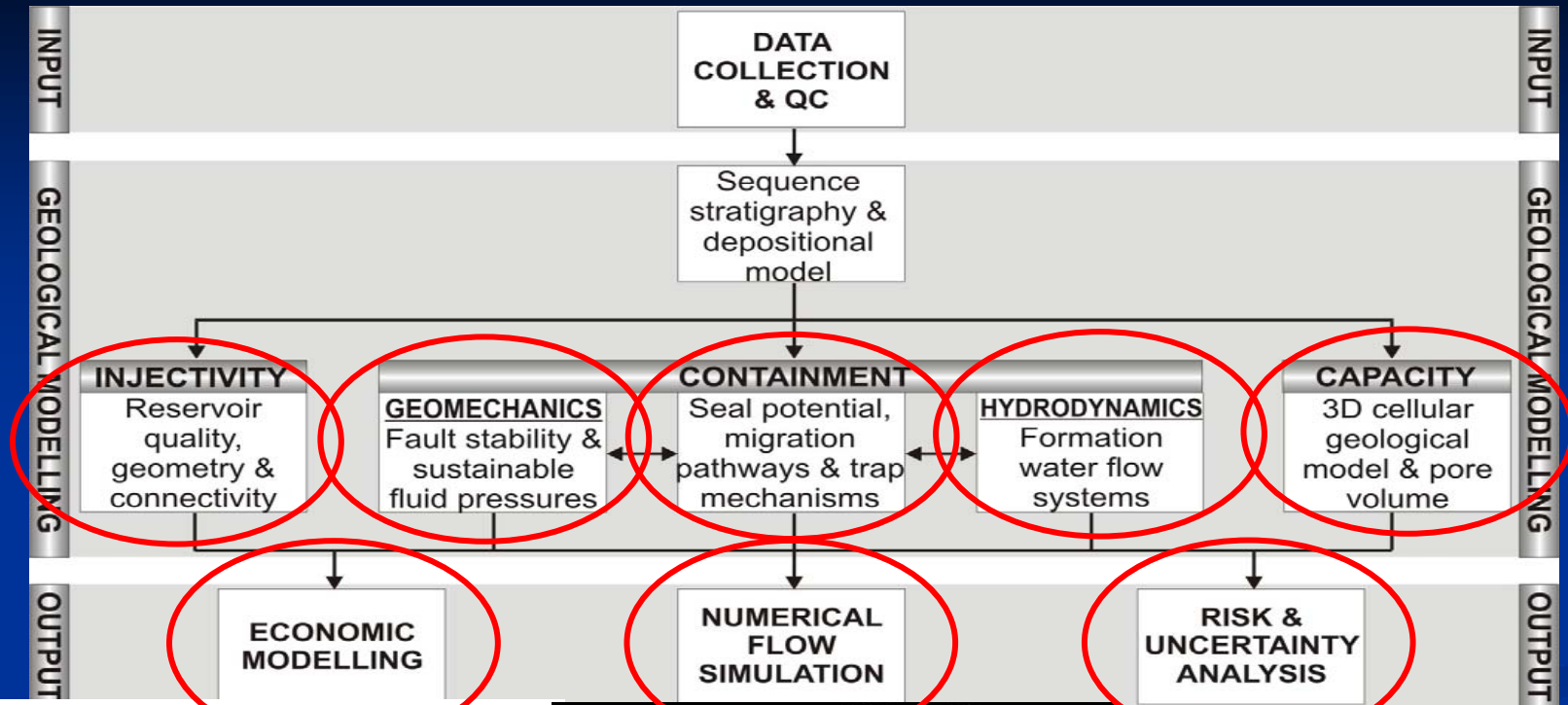
$$\text{MCO}_2\text{e} = \text{GRV} \times \text{NGR}_{(f-m)} \times \phi_{(f-m)} \times (1-S_w)_{(f-m)} \times \rho\text{CO}_2\text{r} \times I_{\text{eff}}$$

$$\text{MCO}_2\text{e} [\text{tonn}] = \text{GRV} [\text{m}^3] \times \text{NGR}_{(f-m)} [\%] \times \phi_{(f-m)} [\%] \times (1-S_w)_{(f-m)} [\%] \times \rho\text{CO}_2\text{r} [\text{tonn/m}^3] \times I_{\text{eff}} [\%]$$

(Formula applicata sommando contributo di matrice e fratture)

- MCO_2e : capacità effettiva di confinamento
- GRV : Gross Reservoir Volume (che comprende già i fattori di forma se si usano $A \times h$ per stimare il volume)
- $\text{NGR}_{(f-m)}$: Net to gross Ratio (che comprende compattazione e intercalazioni argillose nelle sabbie, e per i carbonati viene ripartito tra fratture e matrice)
- $\phi_{(f-m)}$: porosità media del reservoir usando ϕ_f (fratture) e ϕ_m (matrice)
- $\rho\text{CO}_2\text{r}$: densità della CO_2 alle condizioni del reservoir
- S_w : saturazione irriducibile dell'acqua nella porosità espressa in X%, cioè solo il (100-X)% della porosità è disponibile per stoccare CO_2 supercritica
- I_{eff} : Efficienza di iniezione

Studi di fattibilità di stoccaggio geologico di CO₂

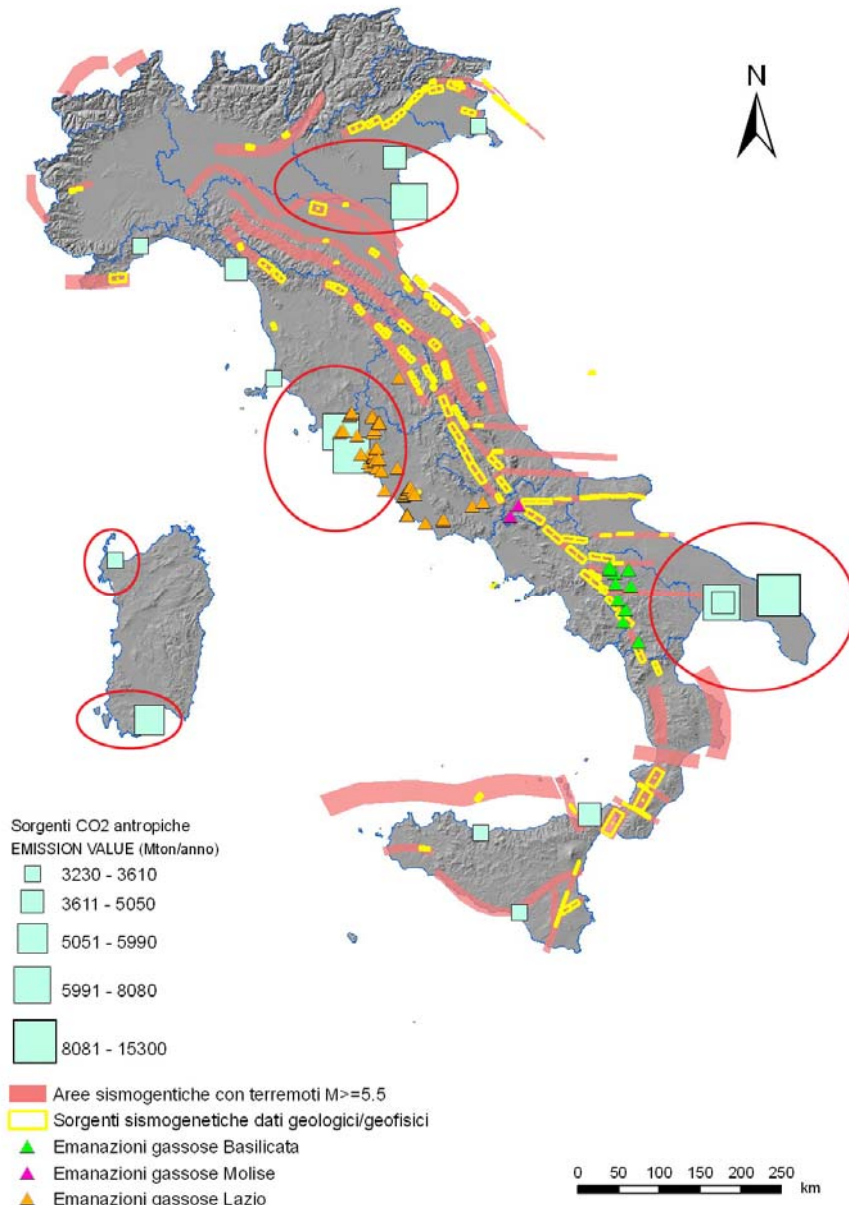


Studi di fattibilità già avviati in Italia per lo stoccaggio geologico di CO₂



INGV & partners studiano come potenziali siti soprattutto:

- Fossa Bradanica e Calabria
- Pianura Padana e offshore adriatico settentrionale
- Alcune strutture offshore Alto Lazio
- Sardegna: in acquiferi salini e carbone profondo Sulcis (ECBM)



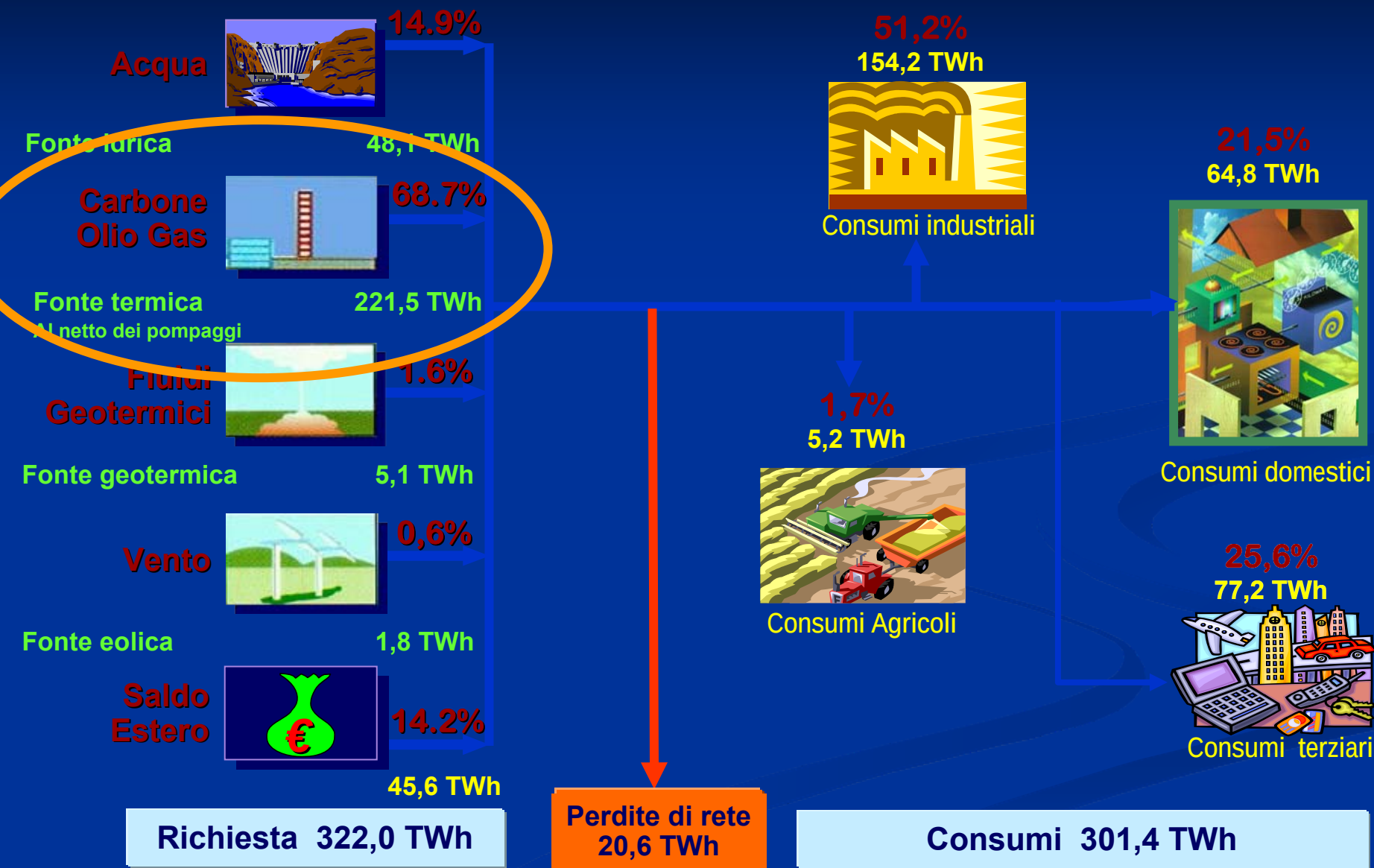
INGV + CNR e Univ. hanno iniziato diversi studi di fattibilità di stoccaggio di CO₂ (ENEL, ENI, IES, Edison, SARAS, SEI, etc...)

Direttiva Europea CCS: Revisione e riscrittura da parte INGV su richiesta dal Ministero Ambiente (Prot. INGV 0002704 del 03/06/2008)

- Scritta da una lobby europea di istituzioni e compagnie petrolifere Nord-Europa : per statuto non si occupano delle problematiche dei rischi associati a CCS e si vede dalla bozza.....per metà ora riscritta da INGV su richiesta del MATT italiano;
- Necessità di riscrivere le definizioni in Art. 3: fuoriuscita, complesso di stoccaggio, corpo d'acqua, flusso di CO₂ industriale, rifiuto, plume di CO₂, gestore, autorizzazione allo stoccaggio, irregolarità importante, provvedimenti correttivi, fase post-chiusura, etc...
- Necessità di aggiornare gli ANNESSI 1 e 2 (criteri di scelta del sito e criteri di scelta del tipo di monitoraggio) viste le evoluzioni rapide delle tecnologie e criteri;
- Riscrittura della parte relativa ai tempi degli studi di fattibilità (era solo 2 anni);
- Necessità dei vantaggi politica ETS non solo per i gestori della “Source” ma anche del “Sink” ed inserimento di opzione EOR e EGR di cui non si parla (posizione ENI) ;
- Restrizione delle possibilità per l'Autorità Competente di imporre al Gestore sito stoccaggio ulteriori studi, monitoraggi, etc... che fuoriscano dall'ANNESSO 2, a meno di carico economico anche per l'Autorità Competente;
- “Consultazione delle parti interessate e valutazione dell'impatto”: non consultato inizialmente (ma solo ora in fase di review) l'UNICO ISTITUTO EUROPEO CHE PER STATUTO STUDIA E SVOLGE MONITORAGGIO SUI DUE RISCHI PRINCIPALI CHE HANNO PORTATO LA EC A SCRIVERE LA DIRETTIVA EC SU CCS.

CONCLUSIONI: Bilancio elettrico nazionale

Anno 2004 – dalla produzione al consumo (dati GRTN)



Crescita media annua = 2,4 %

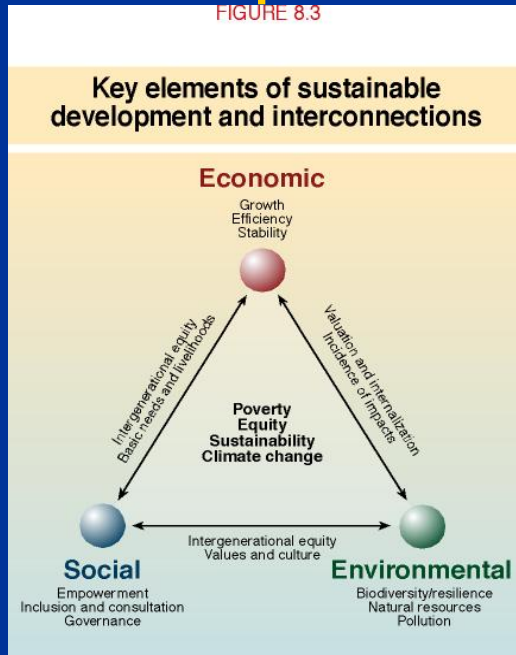
« E' urgente
applicare le
tecniche CCS ed in
particolare EOR di
CO₂ su scala
mondiale»

IEA, CSLF, G8, IPCC

.....

Abbiamo solo 20 anni di
tempo.....

FIGURE 8.3



CONCLUSIONI

