

### 3. - DISTRIBUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE SALINA DELLE ACQUE DELLA FALDA CARBONATICA PROFONDA E SUA EVOLUZIONE NEL TEMPO

La conoscenza della distribuzione della concentrazione salina delle acque di falda è uno degli elementi indispensabili per una corretta gestione delle acque sotterranee contenute negli acquiferi costieri interessati dal fenomeno dell'intrusione marina (COTECCHIA, 1990).

In fase di pianificazione dell'uso della risorsa, infatti, è fondamentale stabilire come e in che misura può variare la qualità delle acque di falda nel territorio, ed individuare le aree entro cui poter prelevare acque sotterranee che presentino determinati standard di qualità, a seconda dell'uso cui si intende destinarle. Il controllo della salinità delle acque di falda, e più propriamente della sua variazione nello spazio e nel tempo, rappresenta, inol-

tre, una delle principali attività da espletare per un corretto monitoraggio finalizzato all'uso sostenibile delle acque sotterranee. Tale monitoraggio può fornire informazioni sullo stato quantitativo e qualitativo dei corpi idrici captati, e individuare gli acquiferi oggetto di progressivo depauperamento, a livello locale e regionale, in modo da poter intervenire, ad esempio, attraverso la riduzione delle portate d'acqua concesse.

Negli acquiferi costieri oggetto di intrusione marina, infatti, l'evoluzione della concentrazione salina delle acque di falda è strettamente connessa con lo stato quantitativo del corpo idrico sotterraneo. Il depauperamento della falda può essere riscontrato più agevolmente attraverso un incremento della concentrazione salina che non attraverso una riduzione dei carichi piezometrici (par. 2.3). Le variazioni di spessore della falda, infatti, vengono maggiormente avvertite come sollevamento dell'acqua di mare, o incremento di spessore della zona di transizione, che non come abbassamento della superficie piezometrica, in accordo con le leggi che regolano gli equilibri tra fluidi a densità variabile.

La verifica della rispondenza della qualità delle acque di falda ai requisiti imposti dalla Normativa nazionale, non interessata, generalmente, al problema dell'intrusione marina, specie in riferimento alla concentrazione salina e allo ione cloruro, non è dunque condivisa né esauriente. I valori di concentrazione salina riscontrabili oggi in estese porzioni delle falde regionali, oggetto di evidente sovrasfruttamento, sono ancora tali da poterne destinare le acque agli usi più vari, compreso quello potabile. Di qui l'inadeguatezza delle attuali normative ambientali, ove applicate agli acquiferi della Puglia: chi si occupa dell'uso delle acque sotterranee in fase di pianificazione idrica, ad esempio, abituato a guardare la chimica dell'acqua con riferimento agli standard di qualità richiesti dai vari comparti, rischia di sopravvalutare le potenzialità idriche degli acquiferi regionali, tralasciando di considerare eventuali, rischiosi processi di salinizzazione in atto.

Nelle pagine che seguono si dimostrerà che la presenza di acque di falda, con contenuti salini tali da renderle idonee all'uso potabile, può in realtà essere indice di un forte depauperamento in atto.

Vanno dunque adottati criteri di gestione e pianificazione idrica profondamente diversi da quelli in uso in altri contesti nazionali, non affetti dal problema dell'intrusione marina, e in cui è sufficiente un semplice controllo della rispondenza delle caratteristiche chimiche delle acque di falda ai valori tabellari normativi, legati al loro uso.

Sulla base delle analisi che seguono si mostrerà come la pianificazione, gestione e protezione delle acque sotterranee, in un contesto regionale caratterizzato dall'estesa presenza di acquiferi costieri interessati dal fenomeno dell'intrusione marina, siano intimamente interconnesse tra loro e debbano essere condotte da un unico "Ente" in grado di svolgere un corretto e competente *management* delle acque sotterranee, per altro già applicato in altre zone del mondo, ove sia presente acqua salata alla base degli acquiferi, come nel caso della Florida (cap. 28).

Nelle pagine che seguono, la qualità delle acque sotterranee sarà indicata facendo riferimento unicamente alla concentrazione salina. Per ciascuna delle aree idrogeologiche individuate, invece, sarà eseguita un'analisi completa dei caratteri chimici (capp. 13÷18), tenendo conto anche dei rapporti intercorrenti tra le varie specie ioniche presenti nell'acqua di falda. Quanto esposto in questo capitolo, insomma, non rappresenta che un punto di partenza per poter introdurre molti fondamentali aspetti trattati nel proseguo del testo.

### 3.1. - CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE GENERALI CONDIZIONANTI LA DISTRIBUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE SALINA

Gran parte delle acque di falda contenute negli acquiferi carbonatici regionali sono mescolate, a vario grado, con le acque marine che invadono il continente. Di conseguenza, la stratificazione salina dell'acqua di falda presenta sostanziali differenze da punto a punto, a seconda delle caratteristiche idrogeologiche della falda, su scala sia regionale sia locale, governate dalle leggi che regolano l'equilibrio tra la falda di acqua dolce e l'acqua di mare intrusa nel continente. In generale, il fenomeno dell'intrusione marina è avvertito maggiormente in prossimità della costa dove, a causa

del ridotto spessore della falda, e del contatto laterale ed inferiore con le acque marine intruse nel continente, il processo di mescolamento tra acque dolci di falda ed acqua di mare interessa quasi tutto lo spessore acquifero, ed è possibile individuare acque contaminate dal mare già ai livelli più superficiali della falda.

Procedendo verso l'interno, a causa dell'incremento dei carichi piezometrici e, per la relazione di Ghyben-Herzberg, della profondità di rinvenimento delle acque marine nel continente, la qualità delle acque di falda migliora, sino a raggiungere, nelle zone ove sono ubicate le aree di alimentazione, caratteri chimici tipici di una falda di acqua dolce affatto contaminata, o quasi, dal mare.

Per poter tenere conto della stratificazione salina delle acque di falda e della sua variazione in ragione del carico piezometrico  $h$ , si è quindi proceduto alla rappresentazione della salinità media di livelli di falda che presentano profondità proporzionale al carico piezometrico stesso, così da poter eseguire un confronto quantitativo della concentrazione salina media tra tratti di falda presentanti condizioni idrogeologiche grossomodo omogenee (fig. 3.1):

- Livello A: spessore di falda compreso tra una superficie piezometrica (o il rinvenimento idrico nel caso di falda confinata) e una profondità dalla superficie piezometrica pari a  $10h$ ;

- Livello B: spessore di falda compreso tra una profondità dalla superficie piezometrica pari a  $10h$  (o il rinvenimento idrico nel caso di falda confinata a profondità maggiore di quella del livello A) e

quella pari a  $20h$ ;

- Livello C: spessore di falda compreso tra una profondità dalla superficie piezometrica pari a  $20h$  (o il rinvenimento idrico nel caso di falda confinata a profondità maggiore di quella del livello B) e quella pari a  $40h$ .

I carichi piezometrici utilizzati per individuare questi livelli di falda sono, ove noti, gli stessi rilevati contestualmente alle determinazioni che hanno fornito il valore di concentrazione salina, e, nel caso di più misure, del valore medio delle stesse. Là dove, alla misura di concentrazione salina, non è associata la quota piezometrica, è stata eseguita una media dei carichi piezometrici noti per un certo pozzo, anche in date diverse da quelle che hanno fornito il valore di salinità.

Nella figura 3.2 è rappresentato un esempio di profilo salinometrico utilizzato per tale raffigurazione. Come si può osservare, la suddivisione in più livelli di falda ben rappresenta la stratificazione salina rinvenuta nel pozzo 237 EISS (Lago Rosso in agro di Galatina), potendosi così operare una distinzione tra tratti di falda che presentano caratteristiche qualitative pressappoco omogenee. Il livello A rappresenta, infatti, la porzione di falda generalmente poco o affatto influenzata dall'intrusione marina. Il livello B rappresenta una condizione intermedia, ove, in generale, si comincia ad osservare un incremento della salinità, in alcuni casi significativo, determinato dall'intrusione marina. Il livello C rappresenta infine le porzioni più profonde della falda, quasi sempre interessate dalla zona di transizione, e in alcuni casi anche dall'acqua di mare.

Nella figura 3.3 questo modello interpretativo viene esteso all'intera Sezione I-I', per la quale in tavola 4 (f.t.) sono tracciate le curve isoaline. Dal confronto tra la figura 3.3 e la tavola 4 è possibile osservare che i livelli di falda utilizzati, tracciati nella mappa, individuano effettivamente porzioni di acquifero ove l'acqua presenta una discreta omogeneità nei caratteri chimici.

Anche le condizioni geologico-strutturali, caratterizzanti gli acquiferi carbonatici presso costa, possono influenzare in modo determinante la qualità delle acque di falda. In particolare, i calcari cretacei sprofondano molto spesso in prossimità della

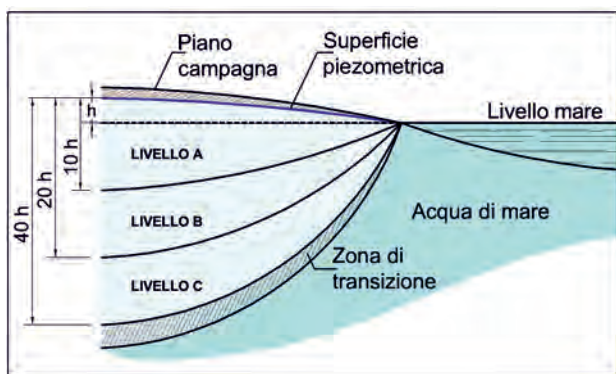


Fig. 3.1 – Individuazione schematica dei livelli di falda carbonatica profonda per i quali si è proceduto alla rappresentazione della distribuzione della concentrazione salina media.

– Schematic identification of the groundwater levels characterizing the deep carbonate aquifer for which the average salt concentration distribution has been represented.

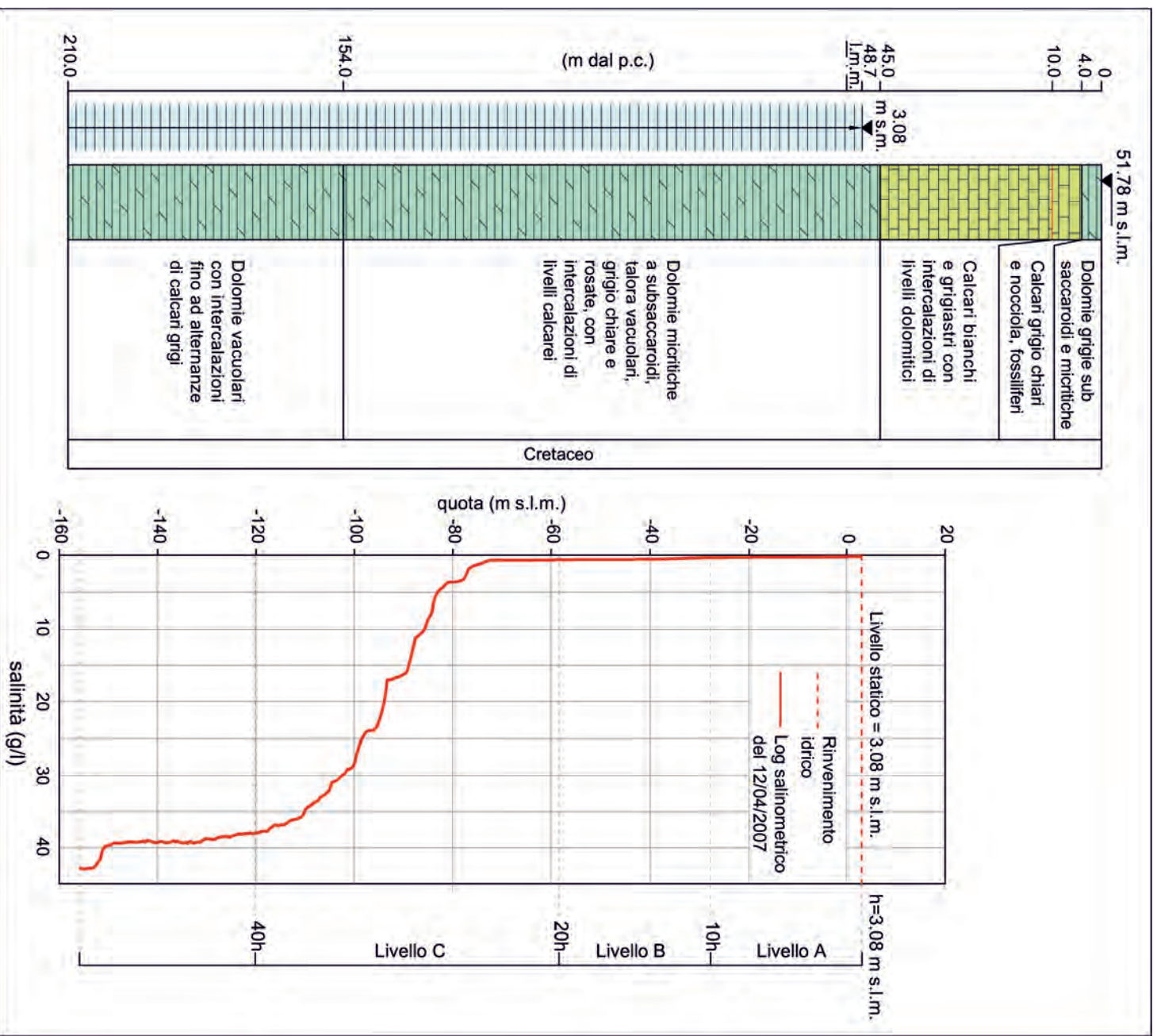


Fig. 3.2 – Log salinometrico eseguito nel pozzo 237 EISS in agro Galatina (LE) con indicazione dei livelli di falda per i quali si è determinato il valore medio di concentrazione salina.

– *Salinity log performed in the well 237 EISS in the territory of Galatina (Lecce province), showing the groundwater levels for which the average salt concentration was determined.*

costa e si ricoprono di terreni impermeabili. In simili condizioni, in funzione del rapporto tra carico piezometrico della falda e profondità di rinvenimento del tetto dei calcarei acquiferi, e dunque, alla posizione del luogo dei punti estremi dell'interfac-

cia teorica (linea I in figura 2.1; par. 2.3), l'acquifero può essere totalmente invaso da acque marine o comunque assai salmastre,

Sempre con riferimento alla sezione di figura 3.3 si evince che, in prossimità di Vernole, i calcarei ac-

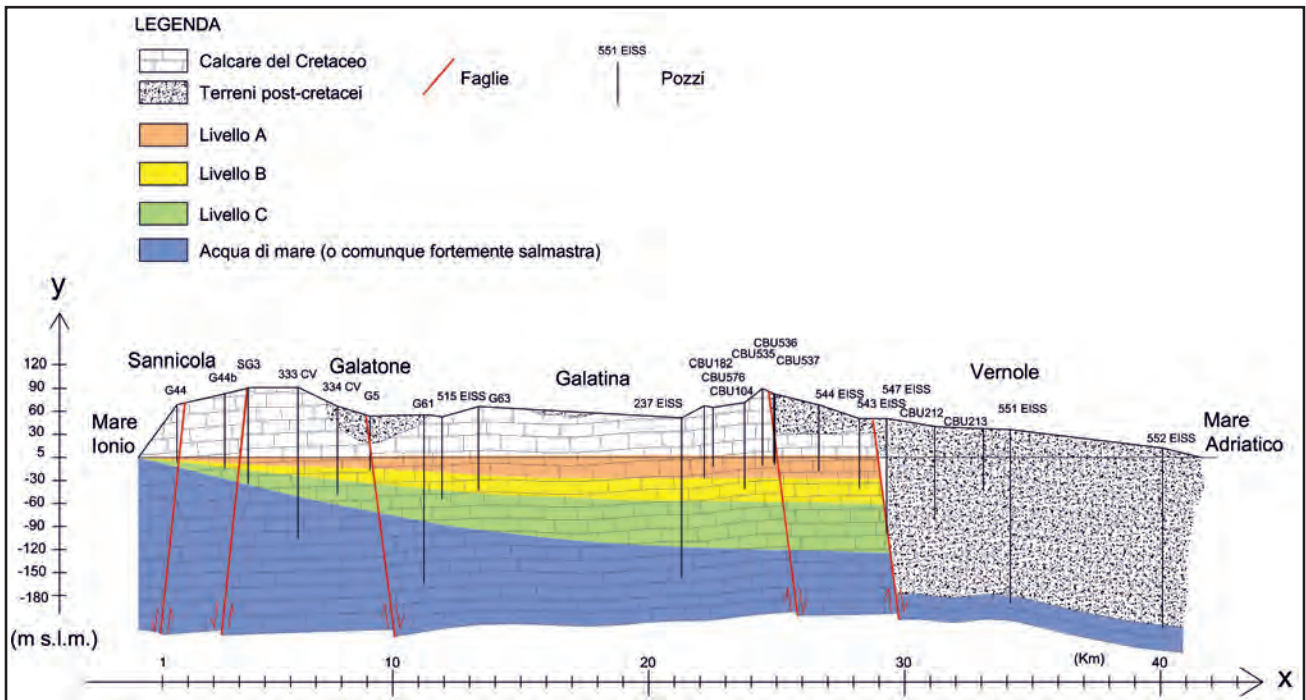


Fig. 3.3 - Sezione idrogeologica I-I' (tav. 4 f.t.), con rappresentazione dei livelli di falda per i quali si è proceduto alla determinazione della concentrazione salina media.  
 - Hydrogeological section I-I' (tav. 4 f.t.), showing the groundwater levels for which the average salt concentration was determined.

quiferi sono dislocati in profondità per via di una faglia con direzione appenninica. In particolare, si noti che la profondità del tetto dei calcari è qui superiore a quella del letto dell'ultimo livello di falda considerato nell'analisi proposta, ossia del livello C. In tali condizioni molti pozzi non penetrano nell'acquifero (CBU212, CBU213), oppure, quando lo intercettano in profondità (551 EISS, 552 EISS), rilevano unicamente la presenza di acqua di mare o comunque fortemente salmastra. È chiaro, insomma, che la concentrazione salina misurata nei pozzi 551 EISS e 552 EISS non può essere in alcun modo correlata con quella misurata a monte della faglia, ad esempio nei pozzi 544 EISS e 543 EISS.

Per poter tener conto di queste situazioni, la carta idrogeologica e le ricostruzioni dell'andamento della concentrazione salina, illustrate più avanti, sono state completate dei seguenti elementi:  
 - Aree in cui il tetto delle formazioni carbonatiche si trova, presso costa, al di sotto del livello mare.

Queste aree indicano in sostanza le porzioni di acquifero entro cui la circolazione idrica si svolge in pressione, a meno di situazioni locali, dove l'acquifero carbonatico, pur essendo rinvenuto in profondità, è invece ricoperto di materiali discretamente

permeabili, come accade a volte in presenza della Pietra Leccese. In ragione del rapporto esistente tra il carico piezometrico della falda e la profondità di rinvenimento del tetto della formazione carbonatica, queste aree possono essere completamente invase da acqua di mare o presentare una circolazione idrica dolce o salmastra in pressione;

- Zone dove l'acquifero è invaso da acque fortemente salmastre.

Queste si presentano presso costa ove la profondità del tetto dei calcari è tale da non consentire l'esistenza di una circolazione idrica sotterranea dolce. Nella tavola 3 (f.t.) queste zone sono tutte interne a quelle precedentemente descritte, in quanto sempre disposte al di sotto del livello mare. I valori di concentrazione salina qui presenti, a volte anche superiori a 5-10 g/l, non sono stati utilizzati nelle interpolazioni che hanno fornito la distribuzione della concentrazione salina su scala regionale, limitata al solo livello A. Con riferimento alla figura 3.3, il passaggio dalla zona ove i calcari sono presenti in profondità, e quindi intrusi di acque salmastre, alla zona in cui sono, invece, interessati da una circolazione idrica sotterranea dolce, avviene con soluzione di continuità;

- Zone con assenza di dati.

Per queste zone la scarsa densità di pozzi di monitoraggio non ha consentito di tracciare l'andamento della concentrazione salina. In relazione alla profondità di campionamento si è potuto, su alcune porzioni di territorio, tracciare l'andamento della concentrazione salina solo nel livello A, quello più superficiale, mentre non si poteva disporre di informazioni sui livelli più profondi, ossia quelli B e C. A tal riguardo va segnalato che per ogni livello di falda sono stati segnalati con opportuna simbologia i pozzi che intercettano o meno il livello di falda considerato. Nella già citata figura 3.3, ad esempio, è possibile osservare che, a partire dal pozzo G44 presso Sannicola, e procedendo verso Vernole (543 EISS), tutte le opere di captazione interessano il livello A. Procedendo verso i livelli B e C si rileva che il numero di pozzi disponibili si riduce progressivamente.

Si noti, infine, che per il Tavoliere di Foggia non si è calcolata la distribuzione della concentrazione salina per i tre livelli considerati, in quanto la rappresentazione eseguita si riferisce solo agli acquiferi carbonatici interessati dall'intrusione marina. Perciò, nella rappresentazione grafica, l'area è indicata come zona con assenza di dati.

### 3.2. - DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE SALINA DELLA FALDA PROFONDA RELATIVAMENTE AL PERIODO 2007÷2010

Per acquisire l'attuale distribuzione della concentrazione salina delle acque della falda profonda, sono stati presi in considerazione i dati disponibili nell'ambito del "Progetto Tiziano", riferiti al periodo 2007÷2010, ed, in particolare, i risultati delle misure di conducibilità elettrica condotte sia in laboratorio, su campioni d'acqua prelevati in condizioni statiche, sia in situ, attraverso l'esecuzione di logs conduttimetrici in pozzi. In entrambi i casi si tratta di dati di conducibilità elettrica associabili ad una precisa quota assoluta della falda (fig. 3.2). L'analisi è stata eseguita su 58.235 rilievi di conducibilità elettrica a 20°C, di cui 684 provenienti da campionamenti statici a quote note e i restanti da logs conduttimetrici. Per rappresentare la distribuzione della concentrazione salina della falda indisturbata, sono stati esclusi dall'analisi le determi-

nazioni chimiche e/o le misure di conducibilità elettrica eseguite su campioni di acqua di falda prelevati in condizioni dinamiche. In tal caso, infatti, il risultato della misura è fortemente condizionato dalle caratteristiche geometriche e costruttive del pozzo (penetrazione in falda e lunghezza dello strato filtrante) e dall'entità e durata dell'emungimento che ha preceduto il campionamento.

Per prima cosa si è trasformato il dato di conducibilità elettrica in valore di concentrazione salina, attraverso opportuni coefficienti di conversione (CELICO, 1990). Senza entrare qui nel merito degli aspetti chimico-fisici che condizionano questa trasformazione – aspetti dovuti sostanzialmente al grado di ionizzazione, alla valenza degli ioni e al pH, (COTECCHIA, 1977; CELICO, 1990) – val la pena sottolineare che il passaggio presenta un certo margine di errore, pur accettabile ai fini di un'analisi che intende fornire una visione sintetica e generale dei caratteri di salinità della falda profonda su scala regionale.

La rete di pozzi di monitoraggio, costituita da 114 punti monitorati è riportata nella figura 3.4 assieme ai carichi piezometrici utilizzati per individuare i tre livelli di falda in esame.

La distribuzione della concentrazione salina determinata per il livello A della falda (fig. 3.5) indica l'esistenza di acque sotterranee con concentrazione salina inferiore o uguale a 0,5 g/l solo nelle porzioni di territorio regionale maggiormente distanti dalla costa, dove si trovano le aree di alimentazione. Queste ultime sono maggiormente estese nella Murgia, anche se - come avremo modo di illustrare riguardo ai caratteri idrogeologici generali dell'Alta Murgia (par. 15.7) - gli spessori di falda cui è possibile associare i valori di salinità ivi calcolati sono incerti. È possibile individuare aree poco o affatto influenzate dall'intrusione marina al centro della Piana messapica e della Penisola salentina. Con riferimento alla Penisola salentina va evidenziato che il livello A della falda presenta modesto spessore. I massimi carichi piezometrici ivi misurati sono infatti dell'ordine di 2÷3 m s.l.m. (fig. 3.4), cui consegue uno spessore del livello A della falda di appena di 20÷30 m.

Come vedremo dal confronto con l'analisi della distribuzione della concentrazione salina relativa al

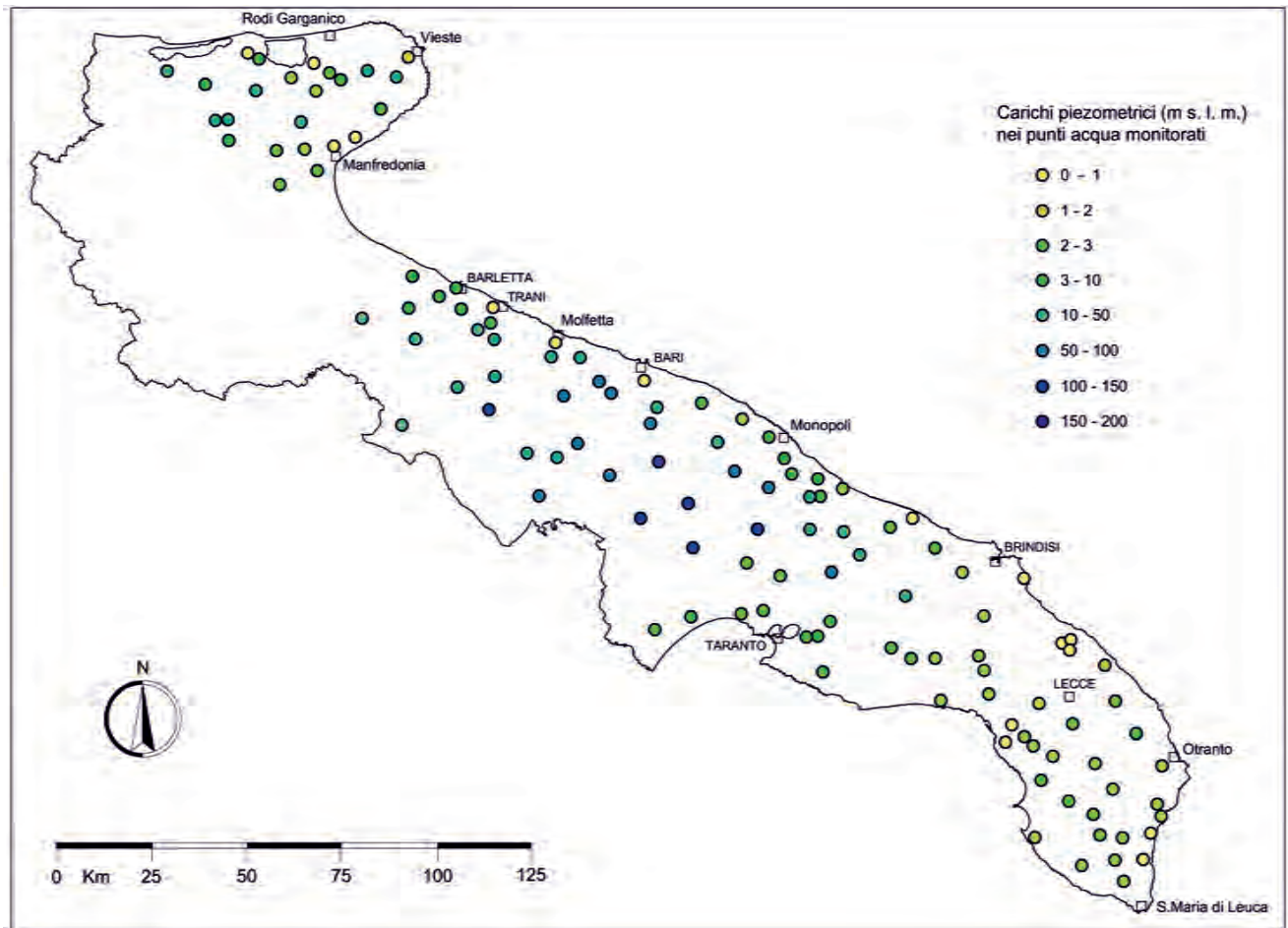


Fig. 3.4 – Rete di pozzi di monitoraggio riferita al periodo 2007÷2010 con indicazione dei carichi piezometrici.  
– Network of monitoring wells referred to the period 2007÷2010 with indication of the piezometric heads.

periodo 1970÷1990, col tempo queste porzioni di territorio vanno progressivamente riducendosi, a causa del rischioso deperimento della falda.

Procedendo verso la costa, si osserva il graduale incremento di salinità, che avviene con modalità differenti, a seconda delle condizioni idrogeologiche locali e del tipo di sfruttamento della risorsa idrica sotterranea. Una descrizione più particolareggiata della distribuzione della concentrazione salina sarà riportata nei capitoli 13÷18, ove saranno trattate le singole aree idrogeologiche regionali.

Dal confronto tra la distribuzione della concentrazione salina riferita al livello *A* della falda e quella rappresentata in figura 3.6 riferita al livello *B*, è possibile osservare un generale incremento della salinità delle acque di falda. La massima profondità dalla superficie piezometrica considerata nella rappresentazione è pari a 20 $\mu$ ; quindi, il tratto di falda in questione dovrebbe an-

cora essere esente, secondo la relazione di Ghyben-Herzberg, dal mescolamento con le acque di mare intruse nel continente, rinvenibili generalmente a profondità superiori ad almeno 30 $\mu$ . Ciò dimostra l'esistenza di una stratificazione salina, dettata dal fenomeno dell'intrusione marina, già a partire da piccole profondità - specie presso costa - che interessa quindi la falda per quasi tutto il suo spessore.

L'incremento di salinità osservabile al passaggio dal livello *A* al livello *B* della falda, diventa particolarmente allarmante quando interessa le aree più interne. Circostanza osservabile, ad esempio, nella Penisola salentina e a nord del Mar Piccolo di Taranto, persino a distanze di decine di km dalla costa. L'incremento di concentrazione salina in queste aree interne indica un possibile, significativo incremento di spessore della zona di transizione (par. 2.3, par. 17.5; par. 18.4).

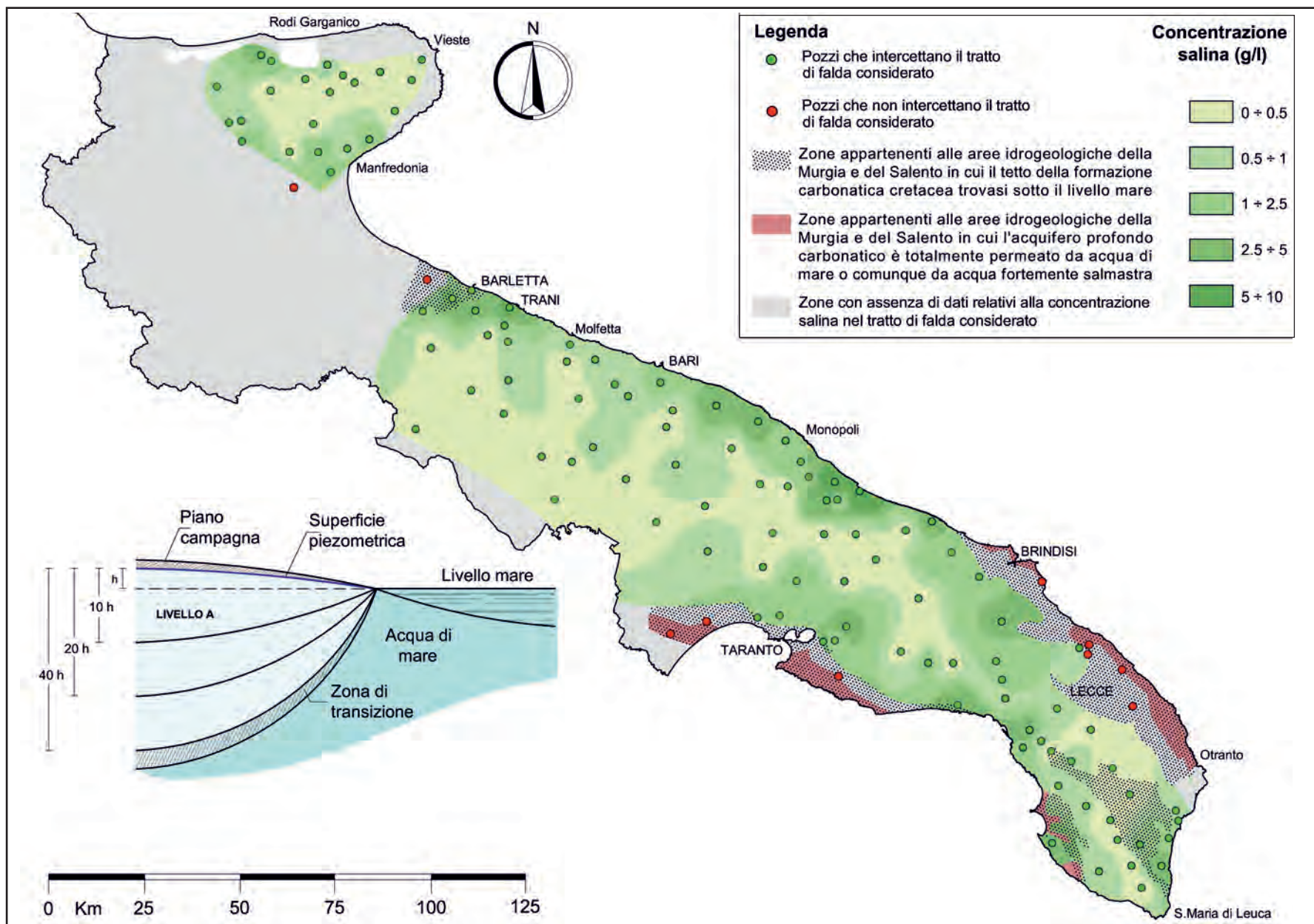


Fig. 3.5 – Distribuzione della concentrazione salina determinata per il livello A della falda carbonatica cretacea profonda (periodo 2007÷2010).  
 – Salt concentration distribution determined for level A of the Cretaceous carbonate deep-aquifer groundwater (period 2007 – 2010).



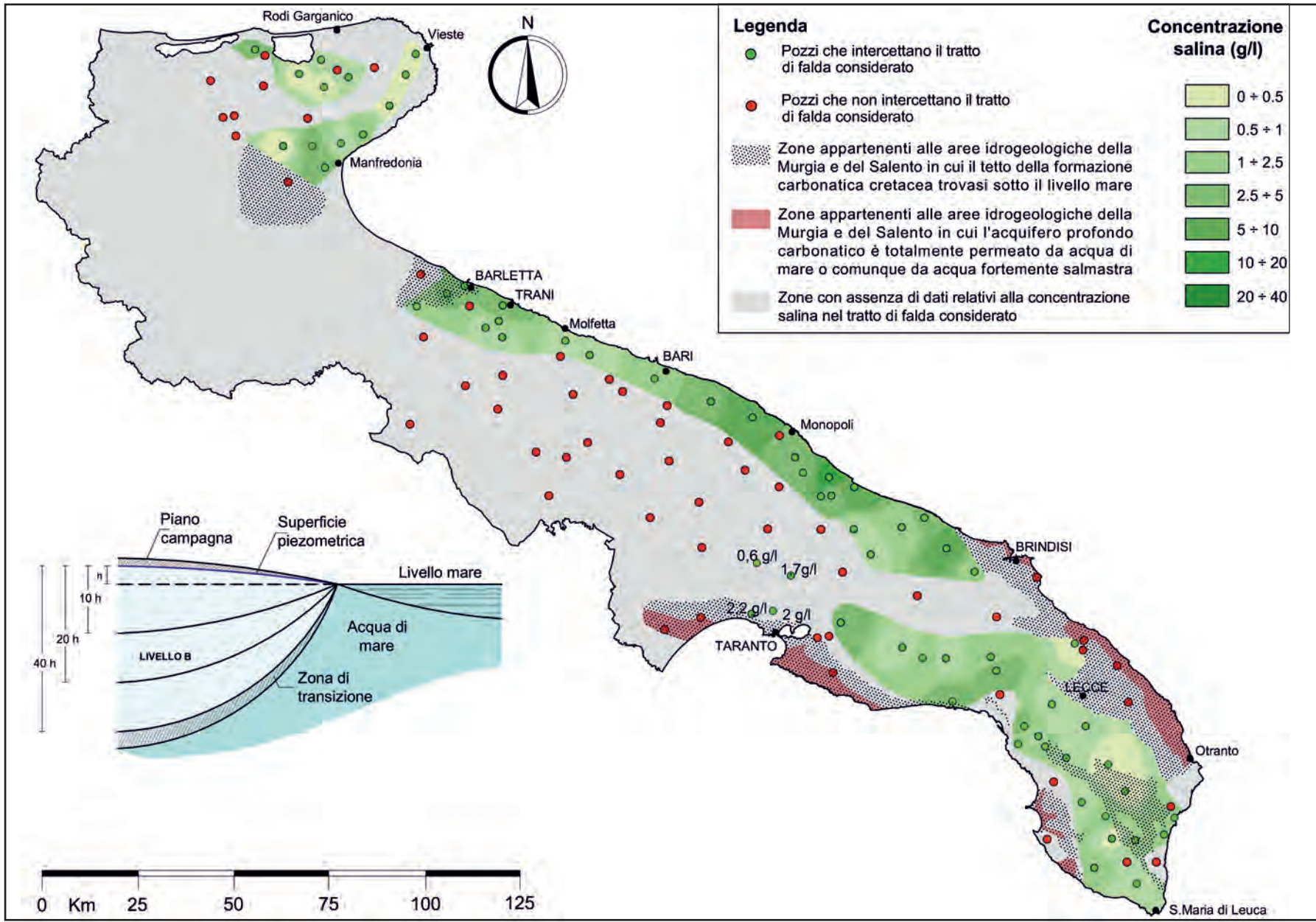


Fig. 3.6 – Distribuzione della concentrazione salina determinata per il livello B della falda carbonatica cretacea profonda (periodo 2007÷2010).  
 – Salt concentration distribution determined for level B of the Cretaceous carbonate deep-aquifer groundwater (period 2007 ÷ 2010).

Non si è potuto, tuttavia, analizzare il fenomeno sull'insieme del territorio regionale, visto che le zone provviste di dati sufficienti, anche per il livello di falda *B*, sono alquanto limitate. Infatti, si è potuto effettuare il calcolo della distribuzione della concentrazione salina delle acque di falda appartenenti al livello *A* su quasi tutto il territorio regionale, ad esclusione della fascia costiera prossima al confine regionale con la regione Basilicata, nonché nelle porzioni più interne dell'Alta Murgia, ove i calcari cominciano a sprofondare verso la Fossa Bradanica, in alcune aree del Gargano e nel Salento in una ristretta area a sud di Otranto. Viceversa, procedendo verso i livelli *B* e *C* della falda (figg. 3.6, 3.7), si è potuta tracciare la distribuzione della concentrazione salina solo nelle aree costiere, dove gli spessori della falda sono esigui e più facilmente intercettati nella loro interezza dalle verticali dei pozzi. Infatti, solo il 20% circa dei pozzi appartenenti alla rete di monitoraggio, distribuiti nella Penisola salentina e lungo la costa adriatica, raggiunge in profondità una salinità maggiore o uguale a 20 g/l (fig. 3.8), tale da poterli considerare "pozzi spia". Ricordiamo che i pozzi spia, dato che attraversano l'intero spessore della falda, si attestano per svariate decine di metri in acqua di mare; la loro presenza, se correttamente eseguiti, è dunque fondamentale per il controllo dell'evoluzione di una fenomenologia complessa come l'intrusione marina, e per la tutela della risorsa idrica sotterranea (par. 9.2).

### 3.3. - DETERMINAZIONE DELLA DISTRIBUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE SALINA DELLA FALDA PROFONDA RELATIVAMENTE AL PERIODO 1970÷1990

Per acquisire una distribuzione della concentrazione salina afferente ad un periodo temporale più remoto, rispetto a quello adottato per determinare quella attuale, e quindi poter determinare gli eventuali incrementi di salinità nell'ultimo periodo, è stato necessario considerare il trentennio 1970÷1990. Solo considerando un così ampio intervallo temporale, si è potuto disporre di un numero sufficientemente rappresentativo di pozzi, adeguatamente distribuiti nel territorio, in modo

da consentire una ricostruzione dello stato qualitativo della falda, attendibile su scala regionale.

Sono state eseguite, relativamente al periodo 1970÷1990, le stesse rappresentazioni descritte per il periodo 2007÷2010. In figura 3.9 si riporta la rete di pozzi di monitoraggio utilizzata, costituita da 422 verticali, con i relativi carichi piezometrici utilizzati per la determinazione dei tre livelli di falda in esame. La ricostruzione dell'andamento della concentrazione salina delle acque di falda è stata eseguita utilizzando i dati di 422 pozzi (di cui circa 80 coincidenti con quelli adottati per l'analisi del periodo 2007÷2010), per un totale di 10.989 rilievi salinometrici, ottenuti da log di conducibilità elettrica, e 33 misurazioni dirette del residuo fisso, ottenute da campioni d'acqua prelevati staticamente. La rete di pozzi utilizzata presenta un minor numero di "pozzi spia" rispetto a quella relativa al periodo 2007÷2010. Solo il 3,5 % circa dei pozzi considerati raggiunge infatti in profondità una concentrazione salina maggiore o uguale a 20 g/l (fig. 3.10). I dati storici hanno quindi fornito minori elementi rispetto a quelli attuali sui livelli di falda più profondi esaminati, ossia i livelli *B* e *C*.

La distribuzione della concentrazione salina ricavata dai dati storici per ciascuno dei tratti di falda esaminati (figg. 3.11÷3.13) è, nelle grandi linee, simile a quella ottenuta con i dati più recenti (figg. 3.5÷3.7), anche se, come vedremo, sono molte le aree che hanno manifestato un significativo peggioramento qualitativo della falda profonda. Si fa osservare che i dati storici, mentre hanno fornito informazioni più dettagliate di quelle attuali per la rappresentazione della concentrazione salina del livello *A* nella Penisola Salentina, non hanno consentito di ottenere utili informazioni sull'area idrogeologica del Gargano, per la quale non è stato possibile eseguire alcun confronto utile, tra le condizioni qualitative attuali e quelle passate.

### 3.4. - EVOLUZIONE TEMPORALE DELLA CONCENTRAZIONE SALINA DELLE ACQUE DI FALDA

Il confronto della distribuzione della concentrazione salina eseguito nei due periodi presi in considerazione (1970÷1990; 2007÷2010) evidenzia un

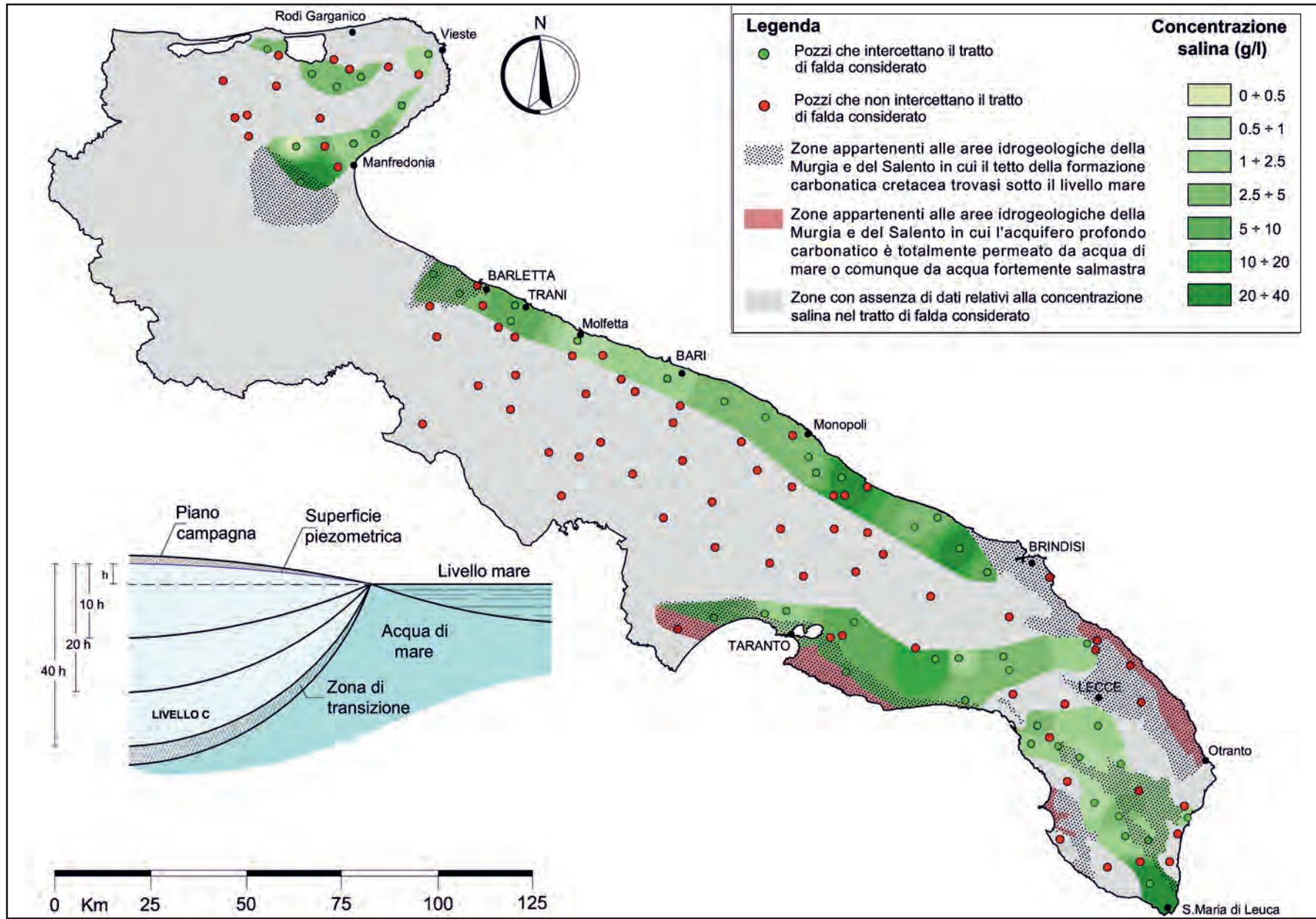


Fig. 3.7 – Distribuzione della concentrazione salina determinata per il livello C della falda carbonatica cretacea profonda (periodo 2007÷2010).  
 – Salt concentration distribution determined for level C of the Cretaceous carbonate deep-aquifer groundwater (period 2007÷2010).

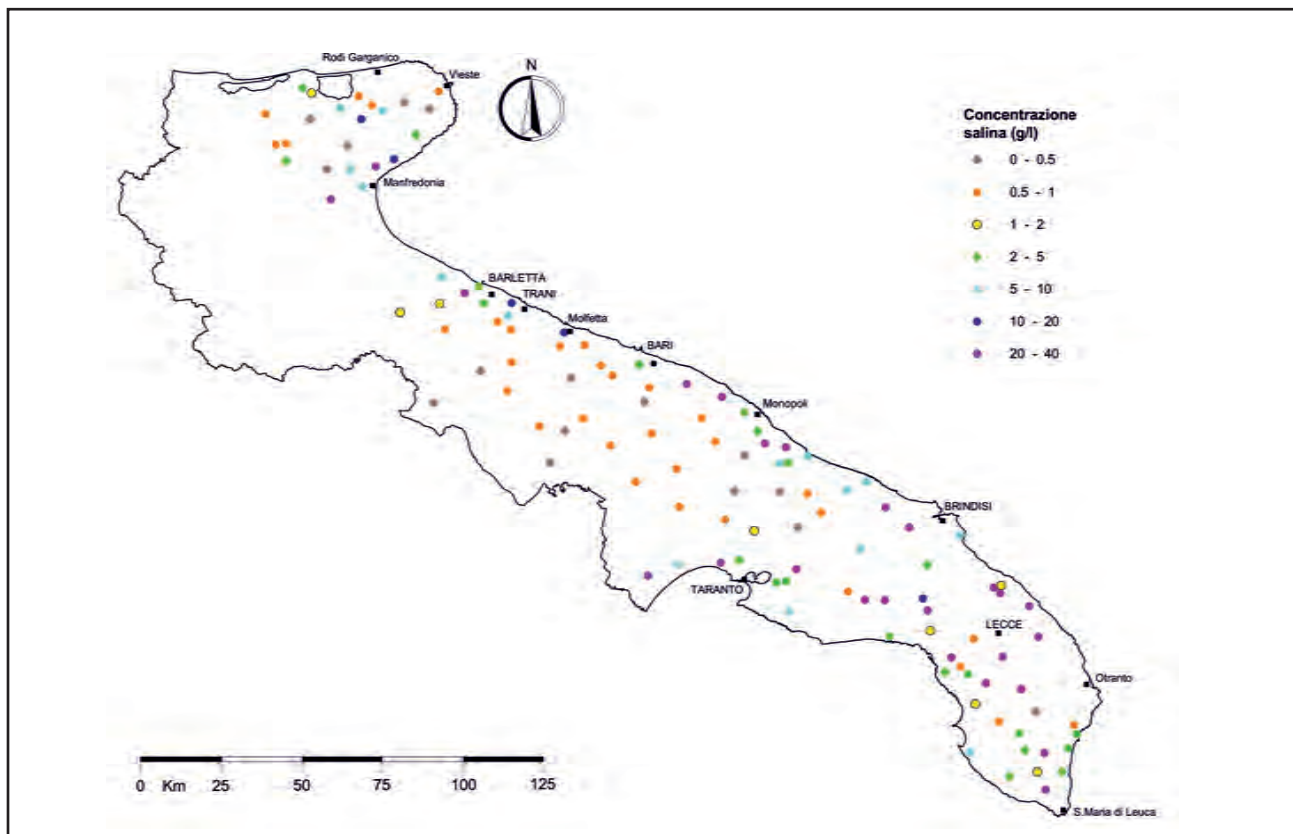


Fig. 3.8 – Concentrazione salina massima riscontrata nei pozzi nel periodo 2007÷2010. I valori si riferiscono, nella maggior parte dei casi, alla misura di fondo pozzo.  
 – Maximum salt concentration observed in wells in the period 2007÷2010. In most cases, values refer to measurements at the well bottom.

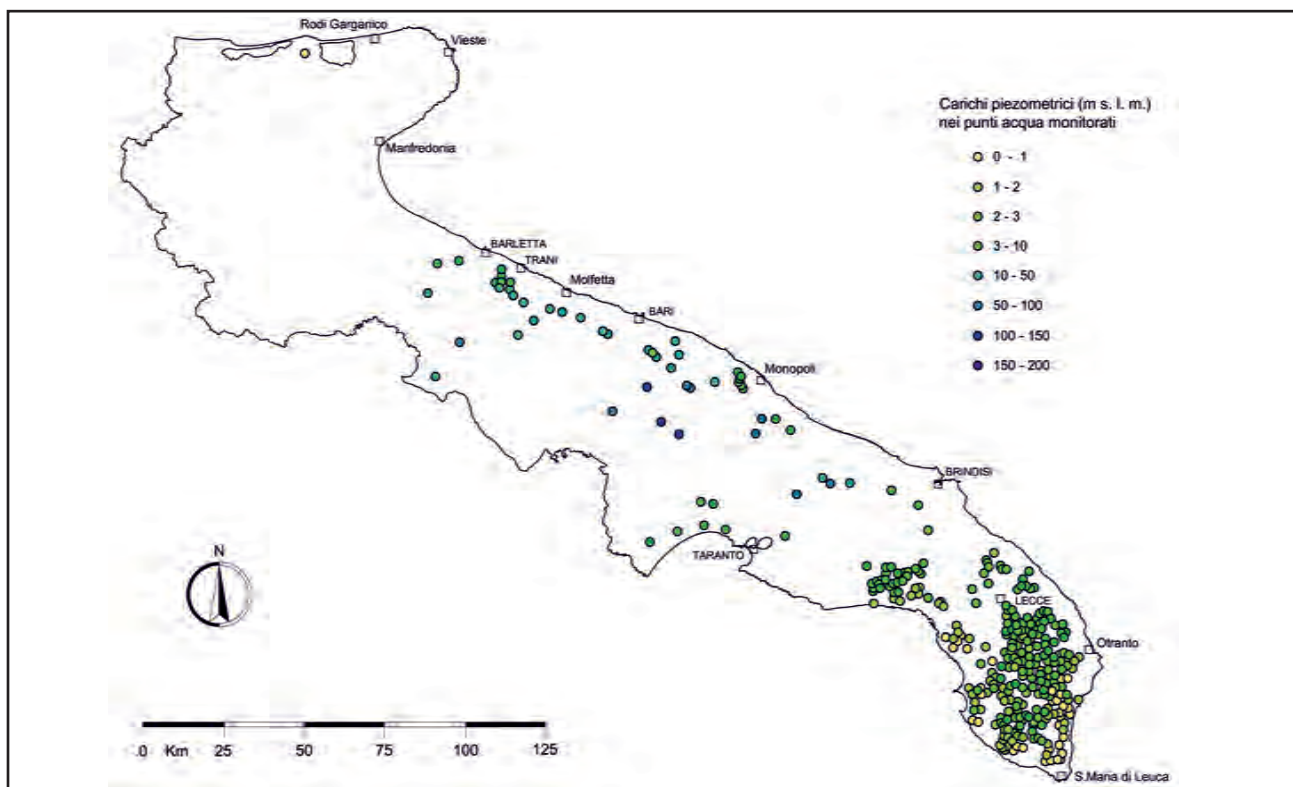


Fig. 3.9 – Rete dei pozzi di monitoraggio riferita al periodo 1970÷1990 con indicazione dei carichi piezometrici.  
 – Network of monitoring wells referred to the period 1970÷1990 with indication of the piezometric heads.

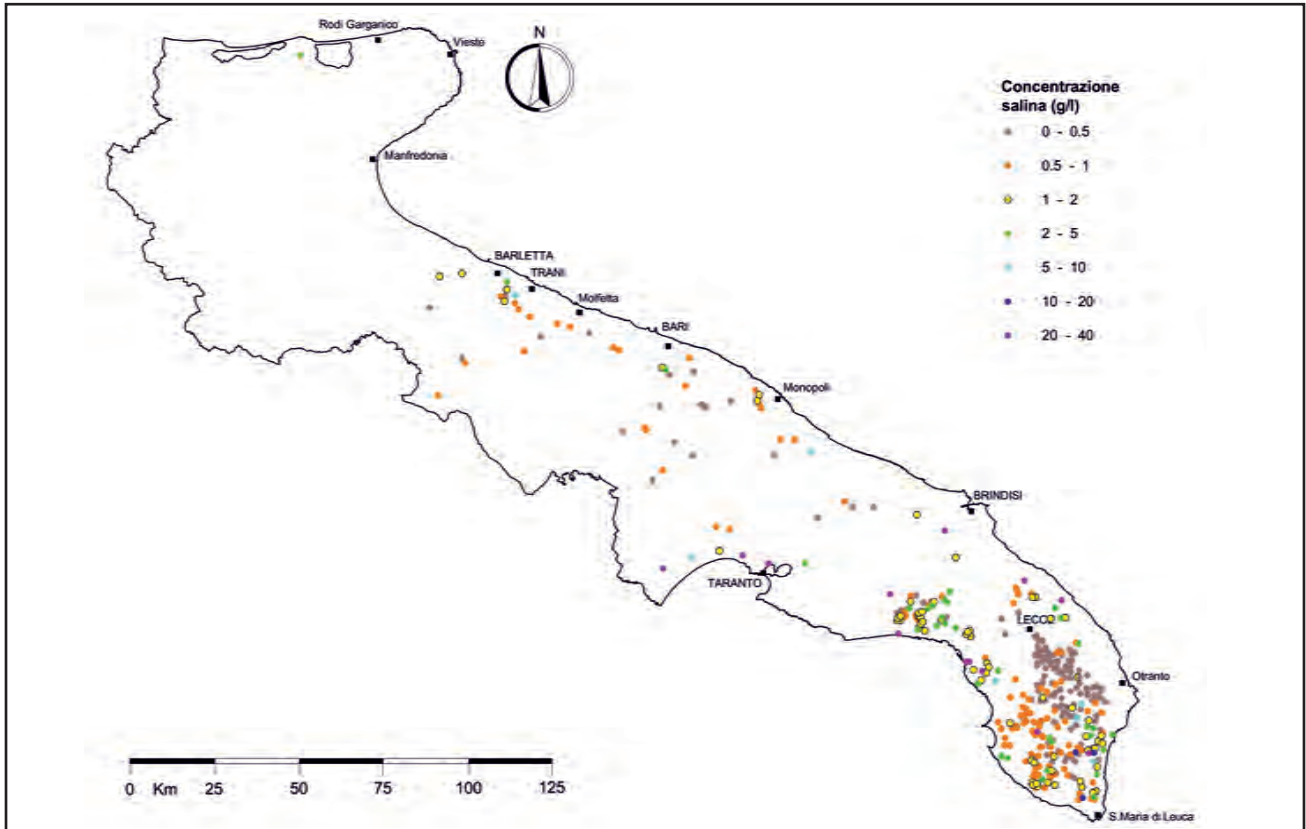


Fig. 3.10 – Concentrazione salina massima riscontrata nei pozzi nel periodo 1970÷1990. I valori si riferiscono, nella maggior parte dei casi, alla misura di fondo.  
 – Maximum salt concentration observed in wells in the period 1970÷1990. In most cases, values refer to measurements at the well bottom.

graduale e significativo peggioramento della qualità delle acque sotterranee, così come si evince dall'analisi congiunta delle figure 3.5÷3.7 e 3.11÷3.13, ed, in particolare, dall'analisi delle isoaline relative allo stesso livello di falda ricavate per i due distinti periodi di osservazione. Un peggioramento che aumenta segnatamente con l'aumentare della profondità, anche se, come abbiamo visto, i dati conoscitivi riguardo ai tratti di falda più profondi, non sono sufficientemente distribuiti sul territorio, per cui non è possibile eseguire valutazioni estese a tutta la regione.

Eseguendo il confronto tra la distribuzione della concentrazione salina afferente al livello B della falda (figg. 3.6, 3.12), è possibile osservare un deciso peggioramento della qualità delle acque di falda lungo tutta la fascia costiera adriatica. Anche nella Penisola Salentina si osservano peggioramenti significativi. Nell'area compresa tra Otranto e Lecce, ad esempio, nel periodo 1970÷1990 (fig. 3.12) l'acqua di falda presentava una salinità inferiore a 0,5 g/l anche nelle porzioni più profonde, e ciò a partire dallo spartiacque idrogeologico ubi-

cato pressappoco al centro del Salento sino ad arrivare alle zone costiere, dove lo sprofondamento del tetto dei calcari induceva vistosi incrementi di salinità. Osservando invece i dati afferenti al periodo 2007÷2010 (fig. 3.6) si rileva, per la stessa area, una concentrazione salina decisamente superiore; per cui le acque di falda che presentano un contenuto salino inferiore a 0.5 g/l sino a profondità dalla superficie piezometrica pari a 20**b**, sono confinate ad una ristretta area centrale. Condizioni di peggioramento si rilevano anche sul versante ionico, dove le aree contraddistinte, oggi, da una salinità superiore ad 1 g/l stanno progredendo verso l'interno, mentre nel 1977÷1990 riguardavano solo una piccola fascia costiera.

Il confronto tra le figure 3.7 e 3.13, che rappresentano per i due periodi temporali considerati la concentrazione salina media del livello C della falda, evidenzia una notevole riduzione di spessore della lente di acque dolci. Mentre nel periodo 1970÷1990 era possibile individuare, anche ad elevate profondità, acque di falda che presentavano

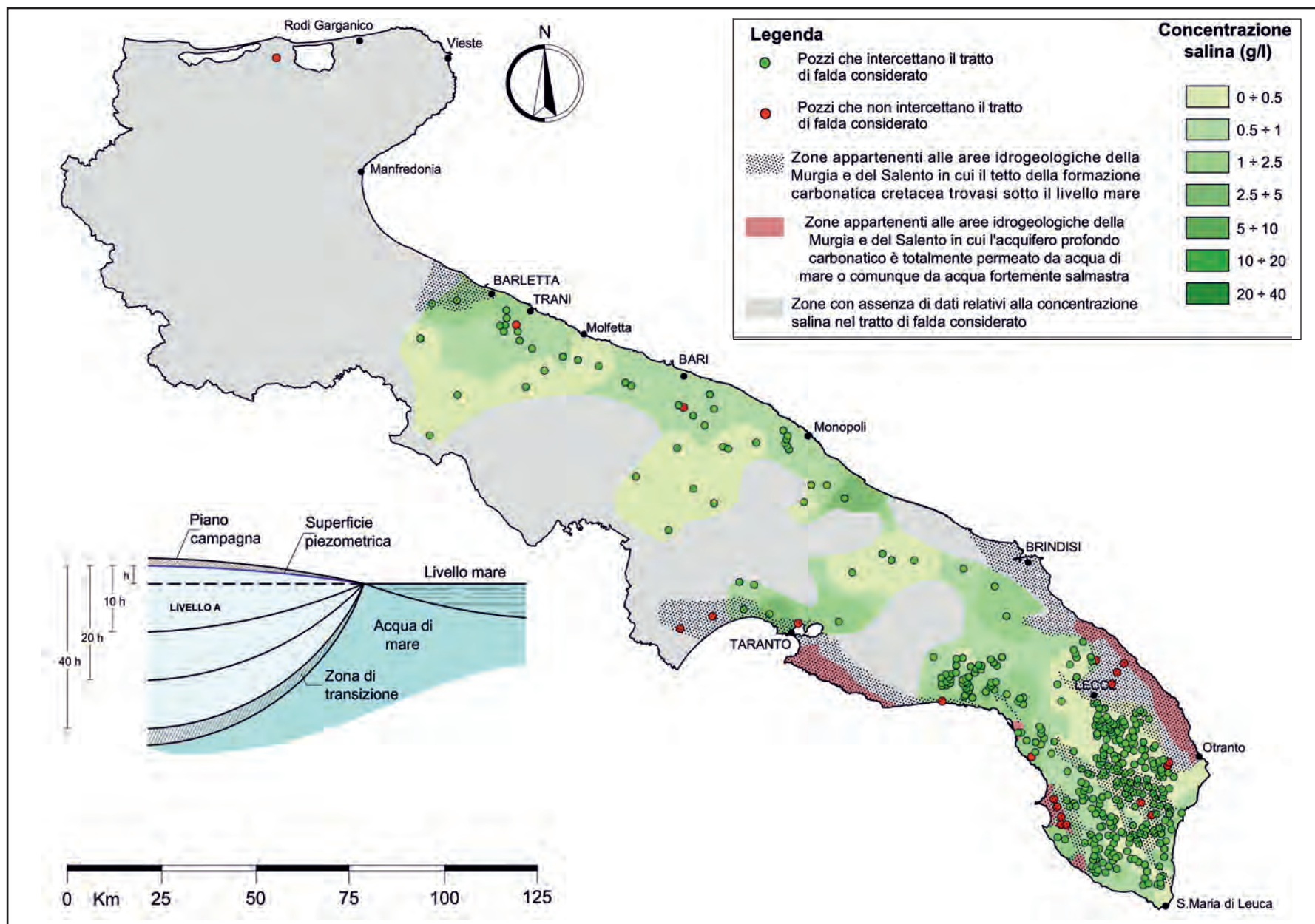


Fig. 3.11 – Distribuzione della concentrazione salina determinata per il livello A della falda carbonatica cretacea profonda (periodo 1970÷1990).  
 – Salt concentration distribution determined for level A of the Cretaceous carbonate deep-aquifer groundwater (period 1970÷1990).

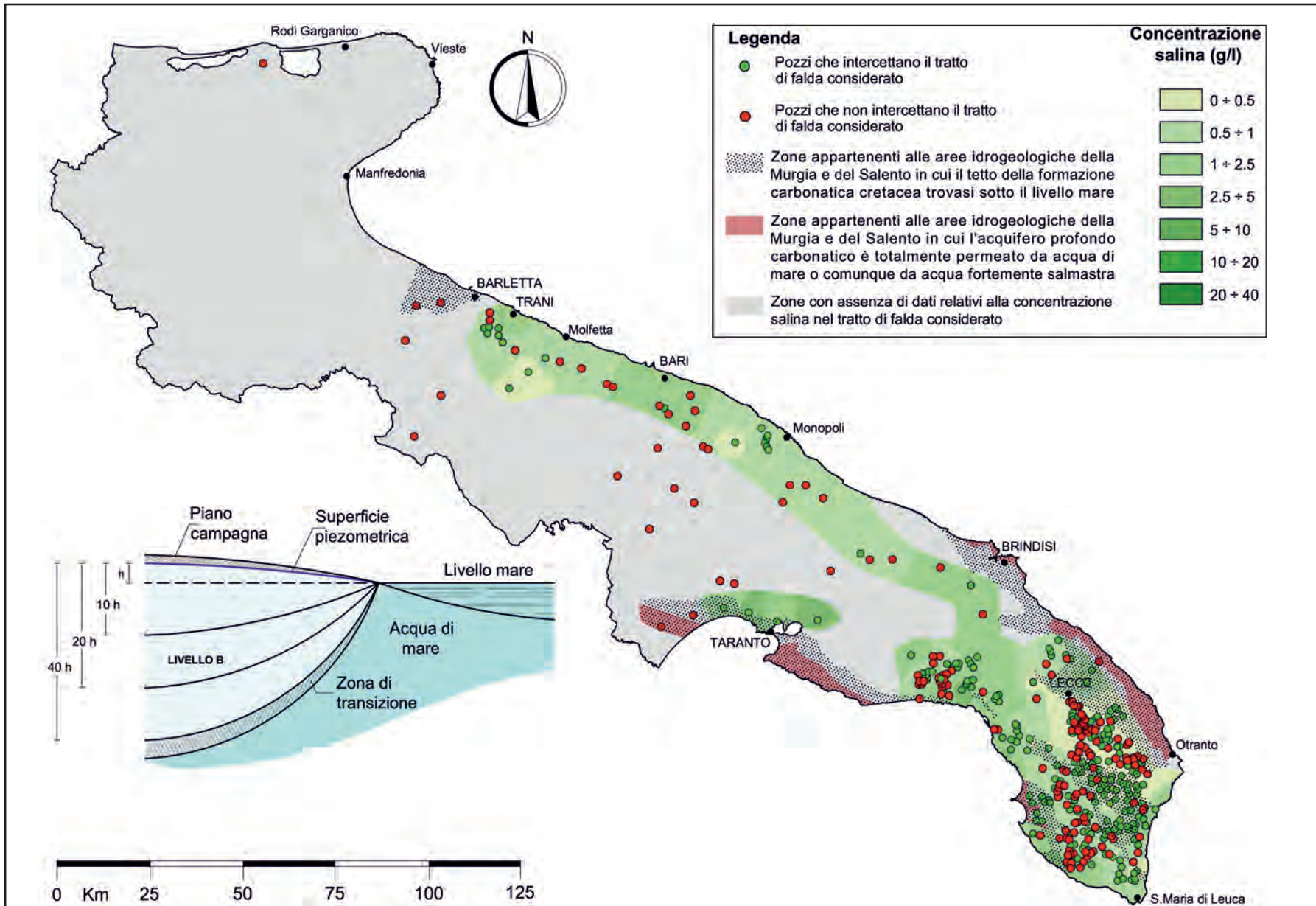


Fig. 3.12 – Distribuzione della concentrazione salina determinata per il livello B della falda carbonatica cretacea profonda (periodo 1970÷1990).  
 – Salt concentration distribution determined for level B of the Cretaceous carbonate deep-aquifer groundwater (period 1970÷1990).

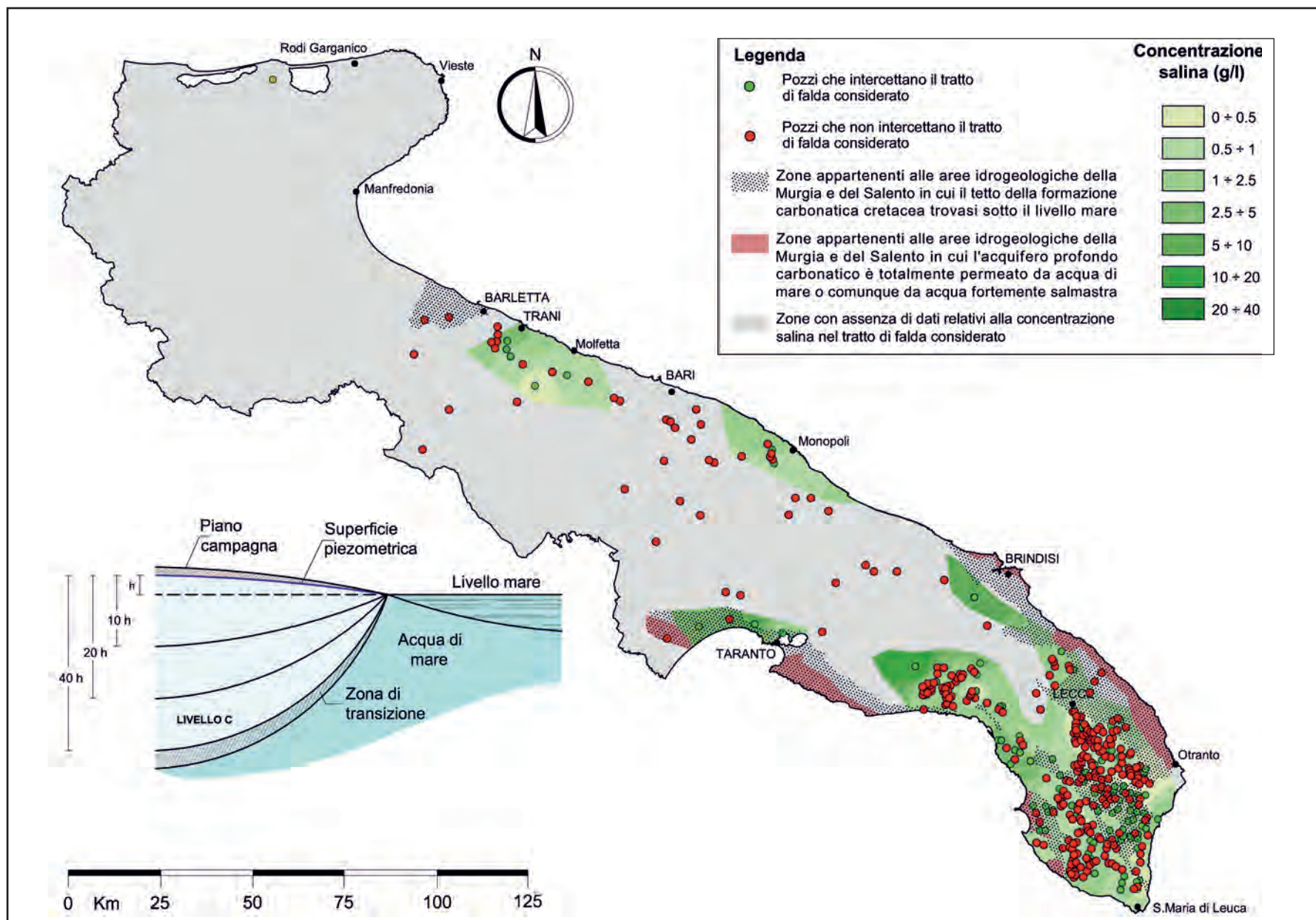


Fig. 3.13 – Distribuzione della concentrazione salina determinata per il livello C della falda carbonatica cretacea profonda (periodo 1970+1990).  
 – Salt concentration distribution determined for level C of the Cretaceous carbonate deep-aquifer groundwater (period 1970+1990).



una concentrazione salina inferiore ad 1 g/l, nel periodo 2007÷2010, alle stesse profondità, la salinità media supera quasi sempre i 2 g/l.

Confrontando i risultati afferenti al primo livello di falda per entrambi i periodi di osservazione (figg. 3.5, 3.11), è stata determinata per differenza la distribuzione di figura 3.14, che indica l'incremento di concentrazione salina avutosi in circa 30 anni per il livello di falda A. Questa è stata redatta discretizzando il territorio regionale in celle, con superficie di circa 50 km<sup>2</sup> ciascuna, ed operando una differenza della concentrazione salina calcolata per ogni cella, tra i due periodi di osservazione. La figura 3.14 evidenzia che circa l'80% del territorio regionale ha registrato negli ultimi 30 anni un incremento di concentrazione salina. Nelle aree costiere detto incremento è spesso superiore a 1 g/l. In alcuni casi limite, vengono addirittura registrati incrementi di concentrazione salina pari a circa 8 g/l.

Il peggioramento riguarda sostanzialmente le stesse aree per le quali abbiamo visto un incremento di salinità nei livelli B e C, più profondi, e ciò a conferma della presenza di inquinamento salino, proveniente dal basso. Le situazioni peggiori, con un incremento superiore a 0,5 g/l, si concentrano nei tratti di costa compresi tra Barletta e Trani, Bari - Monopoli - Fasano, a nord-est del Capo di Santa Maria di Leuca, in prossimità di Gallipoli, in prossimità della sorgente Chidro e a nord-est della città di Taranto. Non vengono risparmiate, comunque, anche aree più interne, ubicate in genere subito a monte delle fasce costiere citate, e lungo la soglia Messapica. Se consideriamo, poi, le aree ove l'incremento di salinità è stato inferiore a 0,5 g/l, queste si estendono allora a quasi tutta la Penisola Salentina e ad ampie porzioni della Murgia. Si osservi, tuttavia, che in questo caso l'incremento di concentrazione salina potrebbe, specie con riferimento alle aree più interne, non essere necessariamente imputato all'intrusione marina. Si tratta infatti di piccole variazioni che possono trovare giustificazione anche in altri meccanismi, come l'inquinamento antropico dalla superficie e/o le interazioni tra la matrice rocciosa dell'acquifero e le acque di falda.

### 3.5. – CONCLUSIONI

L'analisi delle distribuzioni di concentrazione salina eseguite per tratti di falda di profondità e spessore proporzionali al carico piezometrico e per due diversi intervalli temporali distanti circa 30 anni, hanno evidenziato un preoccupante e generalizzato incremento della concentrazione salina delle acque di falda, dovuto a processi di mescolamento con l'acqua di mare intrusa nel continente. Tale fenomenologia è da attribuire indubbiamente ad uno stato di sovrasfruttamento della falda, che determina in modo continuativo una maggiore intrusione di acque marine nel continente. Il fenomeno raggiunge la massima incidenza nelle zone costiere, ma interessa anche talune zone interne della Penisola Salentina e della media Murgia.

I processi di salinizzazione delle acque di falda appena illustrati evidenziano la necessità di rivedere urgentemente i criteri regionali di pianificazione e gestione della risorsa idrica in senso lato, e di quella sotterranea in particolare, per poter garantire un uso sostenibile delle risorse idriche sotterranee nel lungo periodo. In proposito va sottolineata la necessità di applicare criteri specifici di gestione, che tengano conto della particolarità del contesto regionale pugliese, caratterizzato dalla massiccia presenza di acquiferi costieri interessati dall'intrusione marina, poco o affatto contemplati dall'attuale Normativa nazionale. Occorre in tempi brevi passare da una "non gestione", che si rifà a leggi inesorabilmente inadeguate al contesto regionale pugliese, ad un approccio gestionale illuminato che prenda le mosse dagli insegnamenti offerti da un passato ricco di letteratura scientifica specifica, come quello della regione Puglia.

Il Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31, che disciplina ad esempio la qualità delle acque destinate al consumo umano, fornisce un valore massimo consigliato del Residuo secco a 180°C pari a 1,5 g/l, mentre impone che lo ione cloruro non superi i 0,25 g/l. Il primo tratto di falda esaminato, che ricordiamo riferirsi solo allo spessore di falda che raggiunge una profondità dalla superficie piezometrica pari a 10b (Livello A, fig. 3.1), ha fornito valori

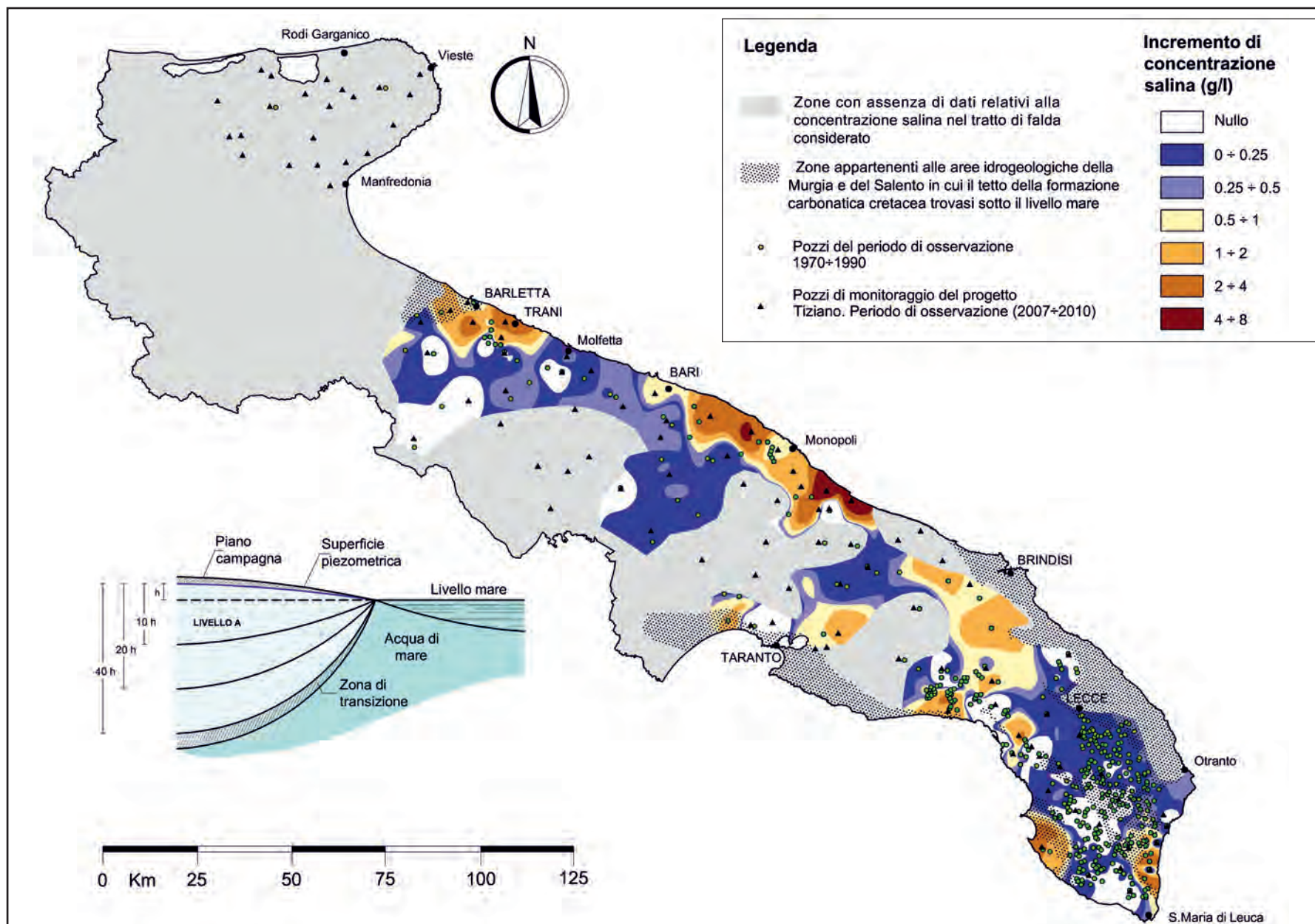


Fig. 3.14 – Incremento della concentrazione salina rilevato per il livello A della falda carbonatica cretacea profonda per entrambi i periodi di osservazione (1970÷1990 e 2007÷2010) .  
 – Increase in salt concentration observed for level A of the Cretaceous carbonate deep-aquifer groundwater in both the observation periods (1970÷1990 e 2007÷2010).

di concentrazione salina e di ione cloruro inferiori o uguali a detti limiti nell'80 % circa del territorio regionale. La percentuale si riduce notevolmente passando ai livelli di falda più profondi, ossia ai livelli *B* e *C*. È fuor di dubbio, quindi, che nelle porzioni più superficiali degli acquiferi regionali, siano ancora immagazzinati notevoli volumi di acque sotterranee con discrete caratteristiche qualitative, che le rendono idonee all'uso potabile. Ma queste caratteristiche devono essere mantenute nel tempo, poiché il loro progressivo peggioramento indica il progressivo svuotarsi della falda e il conseguente ingresso dell'acqua di mare negli acquiferi. È importante segnalare che il raggiungimento del limite di 1,5 g/l proposto dalla Normativa per le acque potabili, segnerebbe nelle zone interne, dove la falda dovrebbe presentare concentrazioni saline inferiori a 0,5 g/l, un processo di intrusione marina in atto che porterebbe a breve termine alla quasi totale scomparsa della risorsa idrica sotterranea dolce. È chiaro, insomma, che il limite di salinità da adottare per l'emungimento di acque potabili dai nostri acquiferi dovrebbe dipendere non tanto da questioni legate alla salute umana, quanto dalla necessità di proteggere la qualità delle acque sotterranee. Sono molte, infatti, le opere di captazione ad uso potabile che tendono al peggioramento qualitativo (cap. 20), da attribuire in modo inequivocabile all'intrusione marina, anche se la concentrazione di ione cloruro presenta spesso valori ancora inferiori ai 0,25 g/l richiesti dal decreto n. 31/2001. Si tratta evidentemente di opere di captazione che andrebbero abbandonate o almeno riviste dal punto di vista progettuale (riduzione della penetrazione in falda e della portata di emungimento), soprattutto alla luce del posizionamento sul territorio, tutelando la falda e garantendo un uso sostenibile nel lungo termine; esse continuano invece a funzionare sinché i caratteri chimici delle acque estratte saranno più o meno accettabili.

Nel capitolo 23, per ciascun sistema di paesaggio, si valuteranno i possibili effetti dell'uso irriguo delle acque di falda presenti in Puglia sui terreni irrigati. Va intanto anticipato che l'utilizzo di acque di falda per l'irrigazione con concentrazione salina superiore a 2 g/l, potrebbe dar luogo a fenomeni

di salinizzazione progressiva dei terreni, con effetti negativi sulla loro fertilità. Allo stato attuale, sempre riferendoci al solo livello *A* della falda già esaminato, le porzioni di territorio entro cui anche le acque di falda hanno superato tale limite raggiungono circa il 30% del territorio regionale. Anche in questo caso va verificata la concentrazione salina delle acque emunte non solo rispetto a possibili effetti negativi legati al tipo di utilizzo, ma anche in vista di una razionale e lungimirante gestione della risorsa idrica.

I limiti di concentrazione salina delle acque emunte dovrebbero quindi, non solo rispettare i limiti normativi e gli standard di qualità legati all'uso delle acque, ma anche basarsi sulla necessità di salvaguardare la risorsa idrica sotterranea. È essenziale che tali limiti siano strettamente legati alla qualità delle acque di falda in condizioni indisturbate, legate a condizioni idrogeologiche generali e locali, e possano quindi cambiare nei vari contesti idrogeologici regionali. I limiti di salinità, applicabili per esempio nell'Arco Ionico Tarantino o nella Piana di Brindisi, dove le acque di falda possono presentare - già in condizioni indisturbate - una concentrazione salina dell'ordine di qualche g/l, come rilevato nei primi studi condotti negli anni '50 (COTECCHIA *et alii.*, 1957), dovrebbero essere profondamente diversi da quelli applicabili ai territori regionali più interni. Particolare attenzione va quindi riposta, oltre che al valore assoluto della concentrazione salina, anche alla sua variazione nel tempo. Un incremento di concentrazione salina nel tempo di qualche decimo di g/l è preoccupante in un'area interna della regione, mentre può essere del tutto privo di significato in una zona costiera.

In quest'ottica, è assolutamente necessario praticare un "Management" delle acque sotterranee basato sull'interpretazione in tempo reale dei risultati del monitoraggio idrogeologico, e rendere dinamico il sistema di rilascio delle concessioni al prelievo (COTECCHIA, 1990).

È evidente, insomma, che la progressiva riduzione del volume di acqua dolce disponibile e il suo graduale peggioramento in termini quantitativi, dovuti tanto all'incremento di spessore della zona di transizione quanto all'incremento di salinità della

falda dolce anche nelle porzioni più superficiali, richiedono l'urgente adozione di misure ad hoc che puntino alla drastica riduzione degli emungimenti, e ciò attraverso il reperimento di fonti alternative (cap. 29), accanto ad una gestione più razionale di quelle esistenti. Fenomenologie di questo tipo indicano, infatti, uno stato di sfruttamento della falda di gran lunga superiore alle sue effettive potenzialità che saranno ampiamente illustrate nei prossimi capitoli.