Analisi dei dati

Carta geologica

Costruzione ed importazione nel GIS. La carta geologica, fornita dal Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università di Cagliari, in formato CAD e scala 1:250000 è stata elaborata con ArcInfo per la correzione degli errori e successiva costruzione della topologia. In Fig. 1 e 2 si riportano i risultati di tali elaborazioni ritagliati sull'area GIS e sull'area modello rispettivamente, così come definite nel rapporto [4]. In Fig. 3 si riporta la legenda valida per ambedue le mappe.

Descrizione ed inquadramento geologico. La piana di Oristano è impostata su un Graben [2, 6]. Movimenti crustali risalenti al Terziario crearono una zona di rifting tra il continente franco-iberico e la placca sardo-corsa. La stessa si distaccò e successivamente rototraslò in senso anti orario di circa 40^0. La fossa tettonica Sarda diretta N-S rappresenta il braccio più orientale del rift. Susseguentemente ad un intenso vulcanismo a carattere calcoalcalino ed al deposito di sedimenti marini e continentali, la fossa fu completamente colmata. Il Graben si formò per la riattivazione di alcune faglie della fossa tettonica Sarda risalente al Plio-Pleistocene. Per quanto riguarda depositi risalenti al periodo Terziario si può dire che nella zona studiata sono presenti affioramenti cenozoici rappresentati da vulcaniti andesitiche. Queste si possono trovare anche lungo la strada statale 131 tra il km 104 e il km 105,5. Sedimenti miocenici marini affiorano ai piedi del monte Palla. Presso il nuraghe S'Argara sono visibili facies marnose-arenacee. Questi sedimenti risalgono al periodo messiniano. Nella zona a Nord-Est di Solarussa vi sono affioramenti di notevole estensione di basalti, mentre verso Sud questi si trovano ad una profondità di circa 18 m, ricoperti dalle alluvioni del fiume Tirso. Nel resto della piana i basalti pliocenici si trovano ad una profondità superiore, a 300 m circa presso il pozzo "Oristano 1", a circa 200 m presso il pozzo "Oristano 2", riportati in Fig. 15. Entrambi i pozzi furono scavati nel periodo 1961-1964 da parte della società S.A.I.S, alla ricerca di idrocarburi. Altri affioramenti di basalti sono presenti a Sud-Ovest dello stagno di Cabras nei pressi del nuraghe S'Argara. L'ultima fase di sedimentazione, era Quaternaria, è contraddistinta dal succedersi di depositi fluviali, lacustri, palustri e marini. Dall'analisi stratigrafica eseguita in occasione della perforazione del pozzo "Oristano 2", situato nei pressi di Riola Sardo ai limiti settentrionali della fossa del Campidano ai piedi dell'apparato vulcanico del Monti Ferru è risultata una successione di facies che varia dall'eolico al marino, con frequenti episodi lagunari. Lo strato quaternario risulta molto potente, dell'ordine di qualche centinaio di metri in alcuni casi. La successione stratigrafica, pur avendo caratteristiche diverse da luogo a luogo, è in generale caratterizzata da depositi ghiaiosi, sabbiosi, limosi e argillosi. Si trovano inoltre sabbie eoliche glacis e coni di detrito. A tal proposito sono notevoli i grandi conoidi di deiezione che si aprono dal Monti Ferru attraverso le vallate di Narbolia e di Milis fondendosi, presso Riola, con il conoide di deiezione del Tirso. Gli affioramenti alluvionali del grande cono di deiezione del fiume Tirso occupano nell'area la superficie maggiore. Il vertice del cono può essere individuato ad una ventina di km circa dalla foce,

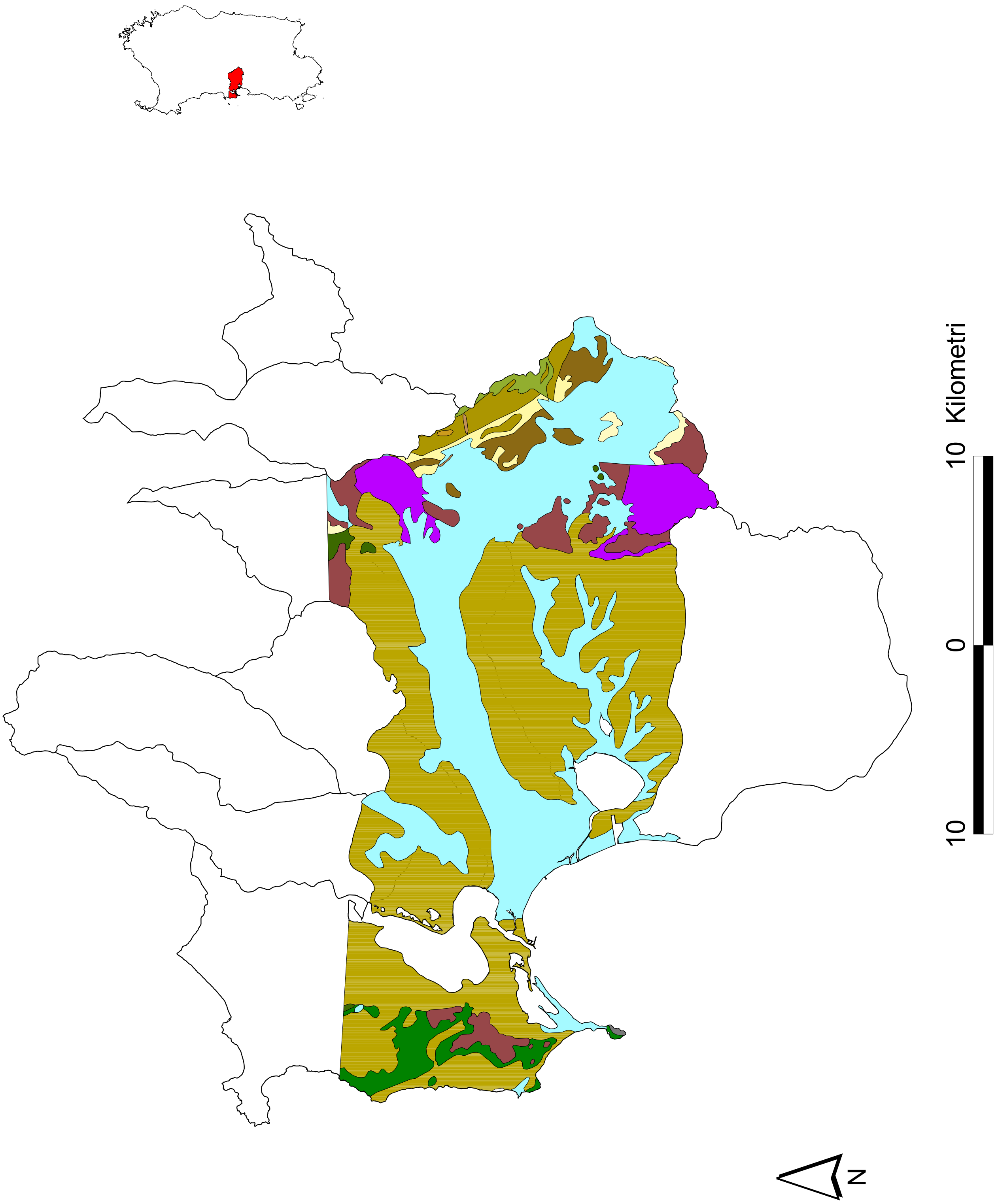

Figura 1: Carta geologica della piana oristanese ritagliata sull'area GIS.

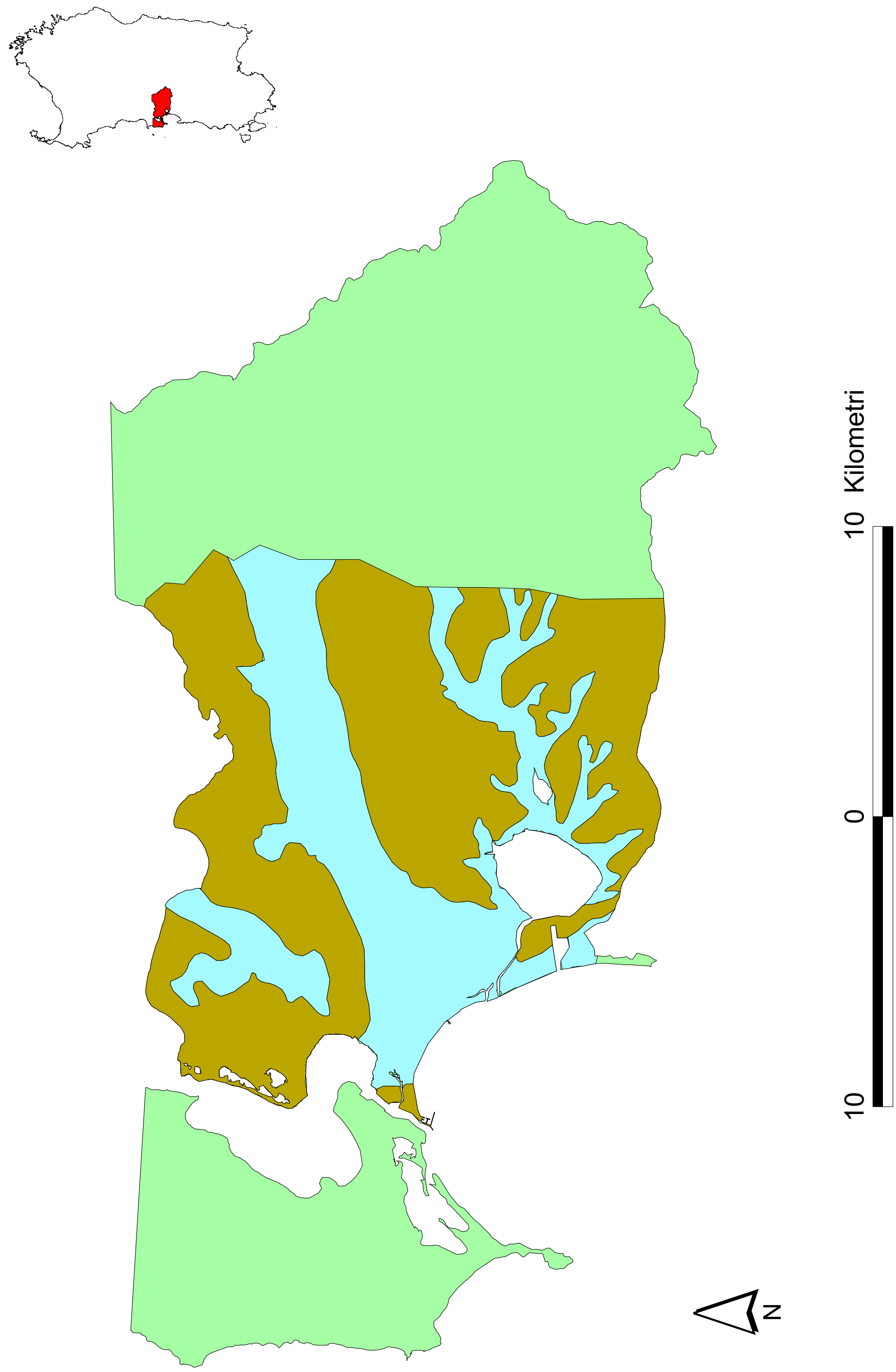

Figura 2: Carta geologica della piana oristanese ritagliata sull'area modello.

LEGENDA

- Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinita tholeiitica e calcalcalina, talora brecciati in colate, cupole di ristagno; lave andesitiche e dacitiche in cupole e filoni; andesiti, basalti andesitici e latiti ad affinita da calcalcalina alta in K a shoshonitica; localmente gabbri e gabbrodioriti in corpi ipoabissali; quarzodioriti porfiriche. (Oligocene sup.- Miocene inf.)
- Arenarie di San Vito e Formazione di Solanas: metaranarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati, con piste ed impronte di Meduse e Acritarchi; nella parte alta metapeliti viola, nere e verdastre, quarziti e metaconglomerati quarzosi. (Ordoviciano medio-Ordoviciani inf.)
- Arenarie eoliche wurmiane (2c); Conglomerati, arenarie e biocalcareniti di spiaggia (2b);Conglomerati, sabbie, argille piu meno cementate (2a).
- Arenarie marnose, siltiti, calcareniti sublitorali (9d). (Serravalliano med.-sup.) Marne e marne arenacee epibatiali (9c).(Langhiano med.-sup.- Serravalliano inf.)Marne arenacee e siltose,arenarie,conglomerati, calcareniti e sabbie silicee sublitorali-epibatiali (9b). (Burdigagliano sup.-Langhiano med.-sup.)Conglomerati e sabbie a matrice argillosa, con elementi del basamento ercinico e subordinate vulcaniti terziarie (9a). (Burdigagliano sup.-Serravalliano)
- Basalti alcalini e transizionali, trachibasalti, andesiti basaltiche e basalti subalcalini, intercalati alla base da depositi di tipo fluivio lacustri. (Pliocene-Pleistocene). Trahciti, trachiti fonolitiche, fonoliti, fonoliti tefritiche.
- Calcari, calcari maenosi e marne argillose.
- Conglomerati a matrice argillosa.e arenarie di derivazione alluvionale. Marne e calcari organogeni sublitorali. (Messiniano). Calcari e arenarie marnose di piattaforma. (Tortoniano-Messiniano inf.) Arenarie Marnose. (Tortoniano)
- Conglomerati, arenarie marnose, marne.
- Filoni principali di quarzo. (Carbonifero sup. Permiano)
- Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di origine alluvionale, eolica e litorale.
- Granitoidi foliati, principalmente granodioriti tonalitiche fino a tonaliti. (Carbonifero sup.-Permiano)Granitoidi foliati, principalmente granodioriti tonalitiche fino a tonaliti. (Carbonifero sup.-Permiano)
- Metaconglomerati, metarcosi, metesiltiti, metagrovacche, con intercalazioni di metabasiti alcaline;metacalcareniti e metacalcari fossiliferi spesso silicizzati. (Caradoc-Ashgill)
- Metarioliti e metariodaciti con fenocristalli da millimatrici a decimetrici di kfs; alla base sono presentiquarziti, metarenarie, metaconglomerati poligenici con elementi di metavulcaniti, metaepiclastiti,metagrovacche. (Ordoviciano medio)
- Rioliti e riodaciti, daciti porfiriche vetrose e bollose. (Pliocene)

Figura 3: Legenda per le carte geologiche (area GIS e area Modello).

all'uscita del fiume da una gola incisa nei basalti presso Villanova Truscheddu. Le parti estreme del cono oltrepassano a nord il centro urbano di Riola Sardo e la palude di Mar'e Foghe, mentre verso Sud si spingono oltre lo stagno di Santa Giusta. A Nord di Solarussa le alluvioni sono state fortemente incise e terrazzate dai corsi d'acqua del Roia Pauruis e Riu Baia Traversa. Il sedimento è costituito da una matrice prevalentemente arenacea con ciottoli arrotondati di diversa natura (scisti, basalti, quarziti, graniti). La datazione delle alluvioni terrazzate risulta non semplice. La panchina Tirreniana è presente in due diverse facies, quella conglomeratica affiorante a Sud dello Stagno di Cabras in località Torre del Porto e Sa Perdera, e quella calcareo salmastra che è presente nella parte alta dello stagno di Cabras e nei pressi di Nurachi. Sabbie dunari depositate durante il Wurmiano affiorano lungo tutta la penisola del Sinis ed in una vasta area nei pressi dello stagno di Cabras e a Sud di quello di Santa Giusta. Le alluvioni limose e sabbiose seguono l'andamento dell'attuale letto del fiume Tirso. La granulometria di questi sedimenti è caratterizzata dalla prevalenza di materiale argilloso. Le alluvioni limose seguono anche gli alvei dei torrenti che scendono dal monte Arci. Nei pressi della Palude di Mar'e Foghe vi è una vasta area interessata da materiale limo-argilloso d'età recente che va dall'Olocene all'attuale. Tuttavia la complessa geometria dei diversi orizzonti alluvionali non consente di rilevare sicure correlazioni stratigrafiche di dettaglio, se non in rari casi. La successione stratigrafica dalla più recente alla più antica è la seguente:

- Depositi recenti di facies fluviali, lacustri, marine ed eoliche;
- basalti plio-quaternari intercalati nelle formazioni alluvionali antiche e sovrastanti i depositi continentali della formazione di Samassi (Pliocene medio);
- marne arenacee a Foraminiferi e Lamellibranchi (Pliocene inferiore);
- depositi di facies marina e continentale di età miocenica, costituiti da calcari e calcari arenacei poggianti su lipotipi marnosi e marnoso arenacei;
- vulcaniti oligoceniche riodacitiche e subordinatamente basalti ed andesiti con facies piroclastiche ed ignimbritiche;
- complesso sedimentario e metamorfico d'età paleozoica, prevalentemente costituito da conglomerati arenacei, lenti calcaree, scisti arenacei, argilloscisti e micascisti.

Lo strato geologico di interesse per questo progetto risulta essere il primo, e cioè quella parte di bacino sedimentario più recente confinata a letto dai basalti plio-quaternari. In esso sono compresi gli ammassi filtranti soggetti a intenso sfruttamento e maggiormente vulnerabili dal fenomeno dell'intrusione salina. Il tetto di tali basalti viene quindi considerato il contorno inferiore del sitema acquifero oggetto di studio.

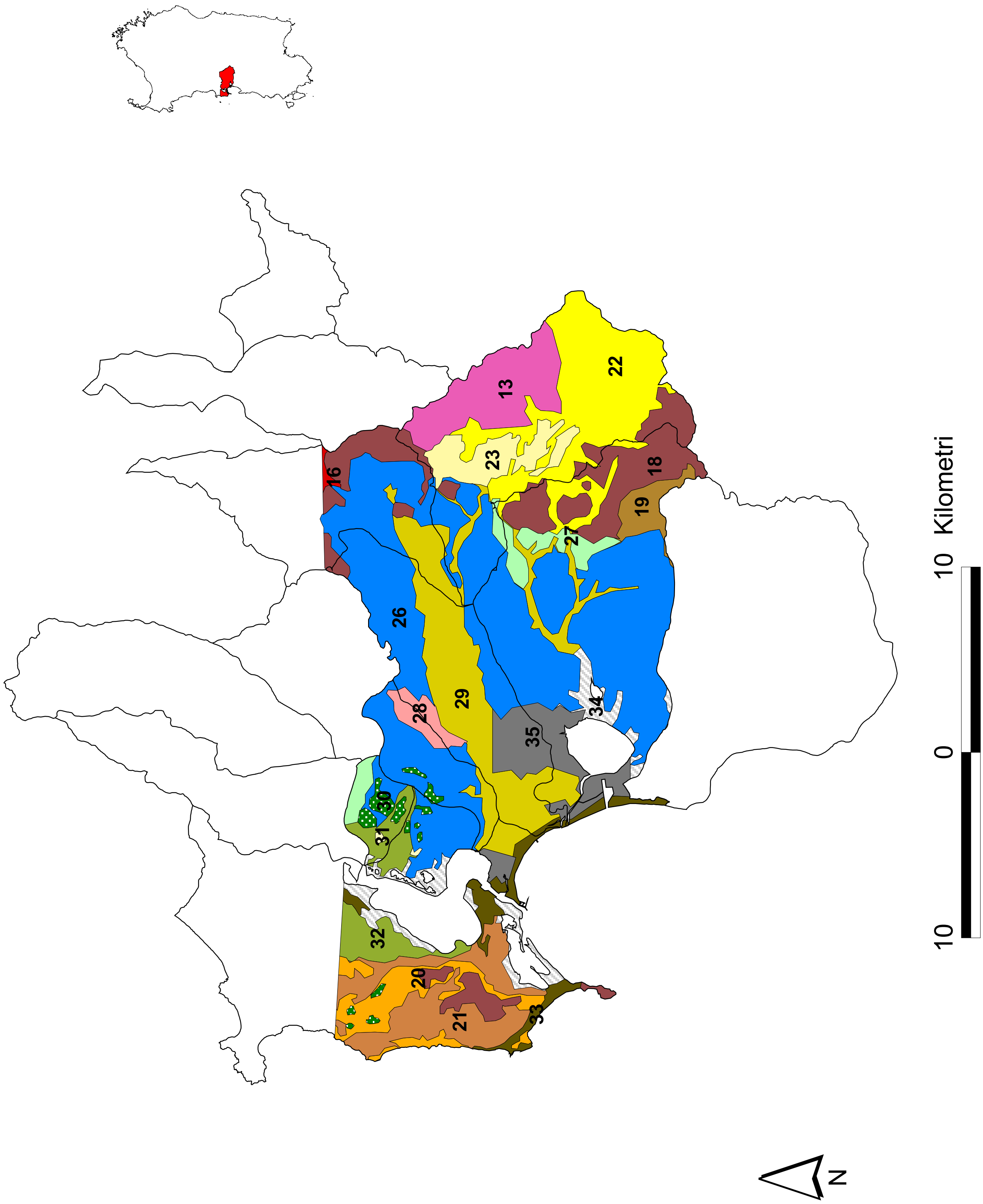

Figura 4: Carta pedologica della piana di Oristano ritagliata sull'area GIS.

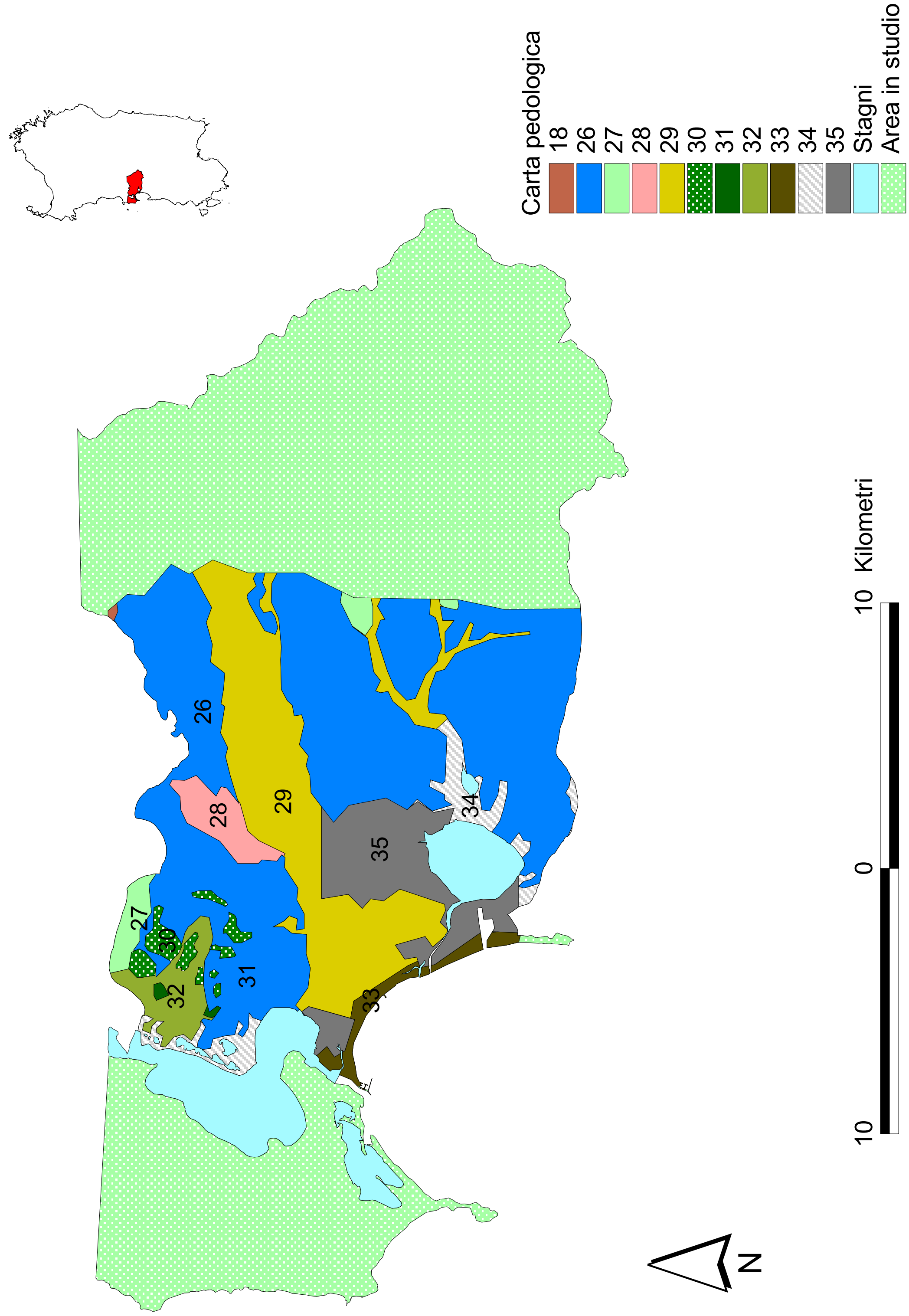

Figura 5: Carta pedologica della piana di Oristano ritagliata sull'area modello.

LEGENDA

13 Rocce affioranti, suolo profondo, da franco argillosi ad argillosi, da mediamente a poco permeabile, neutri, saturi; Rock Outcrop.

16 Rocce affioranti, suolo da profondi a poco profondi, da franco sabbiosi ad argilloso sabbiosi , da permeabili a mediamente permeabili, neutri, saturi; Typic Vertic e Lthic Xerochrepts

18 Suoli poco profondi, franco argillosi, permeabili, neutri, saturi; Rock Outcrop.

19 Suoli da poco profondi a profondi; franco argillosi, permeabili, neutri, saturi; Typic Lthic Xerochrepts.

20 Roccia affiorante, suolo mediamente profondo; da franco sabbioso argillosi ad argillosi, permeabili, neutri, saturi; Rock Outcrup

21 Roccia affiorante, suolo mediamente profondo; da franco sabbioso argillosi ad argillosi, permeabili, neutri, saturi; Typic Lithic Xerochrepts.

22 Roccia affiorante, suolo poco profondo; da franco sabbiosi ad argillosi, permeabili, subalcalini, saturi; Lithic Xerochrepts.

23 Suoli da mediamente profondi a profondi; da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subalcalini, saturi; Typic e Vertic Xerochrepts.

26 Suoli profondi; da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi in superficie, da franco argilloso sabbiosi ad argillosi in profondità; saturi;Typic Aquic ed Ulltic Palexeralfs.

27 Suolo profondo, da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi in superficie, da argilloso sabbiosi ad argillosi in profondità; saturi; Calcic ePetrocalcic Palexralfs.

28 Suoli profondi; da franco sabbiosi a franco argillosi in superficie, da argilloso sabbiosi ad sabbioso argillosi in profondità, saturi; Typic e Calcic Palexeralfs.

29 Suoli profondi, da sabbiosi franchi a franco argillosi, da permeabili a poco permeabili saturi; Typic Vertic Aquic e Mollic Xerofluvents.

30 Suoli profondi; da argillosi a franco argillosi, da poco a mediamente permeabili, saturi; Typic Pelloxerts.

31 Suoli profondi; da sabbiosi a sabbiosi franchi, poco permeabili, subalcalini, saturi; Typic Fluvaquents.

32 Suoli da poco a mediamente profondi, da franco argillosi a franco sabbioso argillosi, permeabili, da neutri a subalcalini, saturi; Lithic Calcixerolls.

33 Suoli profondi, da sabbiosi a sabbioso franchi, da permeabili a molto permeabili, da neutri a subalcalini, saturi. Lithic Xeropsamments.

34 Suoli profondi, argillosi o argillosi limosi, poco permeabili, da subalcalini ad alcalini, saturi; Typic Salorthids.

35 Area urbanizzata

Figura 6: Legenda per le carte pedologiche (area GIS e area Modello).

Carta pedologica

Costruzione ed inserimento nel GIS. La carta pedologica è stata conseguita tramite scannerizzazione della Carta dei Suoli della Sardegna [1], georeferenziazione tramite ArcInfo, e traformazione da formato raster a formato vettoriale. La precisione della carta così ottenuta risulta essere dell'ordine dei metri. La carta pedologica è stata successivamente ritagliata sull'area GIS (riportata in Fig. 4) e sull'area del modello (riportata in Fig. 5). La legenda per ambedue le carte è riportata in Fig. 6.

Descrizione dei suoli. Per l'individuazione e caratterizzazione dei diversi tipi di suoli, si sono considerati come parametri più rappresentativi i seguenti:

1. composizione mineralogica del suolo, che condiziona l'uso del suolo stesso e favorisce e provoca l'abbattimento d'inquinanti eventualmente sversati nel territorio con molteplici interazione chimico fisiche;

2. tessitura, forse la caratteristica più importante in termini applicativi, determinata in laboratorio mediante analisi granulometrica, in modo tale da consentire la determinazione delle diverse classi in base alle percentuali di sabbia, limo e argilla presenti.

Da un'analisi delle serie podologiche, si evince che i suoli variano da mediamente profondi a profondi e che si trovano generalmente in condizione di saturazione. Solo le formazioni pedologiche Lithic Xerochrepts, Typic Lithic Xerochrepts e Rock Outcrup presenti rispettivamente nella parte più orientale dell'area in studio e nella penisola del Sinis, sono caratterizzati da suoli poco profondi. I tipi di suoli individuati rivelano un'alta variabilità spaziale, passando bruscamente da sabbiosi franchi a franco argillosi (Typic Fluvaquents), da franco argillosi a franco sabbioso argillosi (Lithic Calcixerolls). I valori della conduttività idraulica seguono ovviamente tale variabilità. L'acidità suoli varia infine da neutra (Typic Lithic Xerochrepts, Rock Outcrup ecc.) a subalcalina (Typic Fluvaquents, Lithic Calcixerolls, ecc.) ad alcalina (Typic Salorthids).

Modello tridimensionale del terreno e idrografia

Ricostruzione della orografia. La provincia di Oristano è ubicata nella parte centro occidentale della Sardegna; ha una superficie di 2631 kmq con una popolazione di circa 160000 abitanti distribuiti in 75 comuni. L'area in studio ricade nei territori dei comuni di Oristano, Santa Giusta, Cabras, Nurachi, Riola, Simaxis, Solarussa, Ollastra, Siamanna e Villaurbana.

La morfologia della zona risulta sostanzialmente piatta con un intervallo di quote compreso fra 0 e circa 200 m che si sviluppano procedendo da Ovest verso Nord-Est dove si incontrano formazioni collinari che costituiscono le ultime propaggini del complesso vulcanico del Monti Ferru e del Monte Arci. L'area, quasi totalmente pianeggiante, presenta parecchie zone depresse che in passato furono sede di paludi, oggi quasi totalmente bonificate.

La ricostruzione dell'orografia dell'area in studio è stata fatta tramite ArcInfo, utilizzando più di 10000 punti di posizione e quota noti distribuiti uniformemente nell'area in studio. In Fig. 7 si riporta il modello tridimensionale del terreno ottenuta. E' stata anche inserita come riferimento geografico la rete viaria principale, ottenuta dalle tavolette dell IGM, quindi con una precisione dell'ordine dei 6 metri.

Ricostruzione dell'idrografia superficiale. La rete idrografica superficiale, ricavata dalla Carta Tecnica Regionale, è riportata in Fig. 8. Nell'area sono presenti alcuni stagni (stagno di Santa Giusta, stagno di Cabras, stagno di Mistras) che rivestono, unitamente ai corsi d'acqua della zona, un'importanza fondamentale per quanto riguarda gli equilibri idrogeologici. I versanti montuosi del Monti Ferru a Nord e del Monte Arci ad Est con le colline della loro fascia pedemontana, che delimita la piana con una successione di terrazzi, sono incisi da un'intensa idrografia con bacini ben differenziati. Il bacino principale del fiume Tirso si estende nell'entroterra per circa 3300 kmq con sviluppo prevalentemente dentritico dovuto alle varie tipologie rocciose attraversate. Il secondo sottobacino, facente capo ai versanti occidentali del monte Arci, ha una rete idrografica piuttosto lineare, poco ramificata e quasi perpendicolare alla linea di costa. Il terzo sottobacino, intestato sulle pendici meridionali del Monti Ferru, è caratterizzato dapprima da aste fluviali ad andamento lineare parallelo alla linea di costa che poi ripiegano bruscamente nella piana quasi ad angolo retto.

In uno studio recente [5] è stata presa in esame la simulazione in regime stazionario degli interscambi fra il fiume Tirso e l'acquifero superficiale alluvionale nell'ipotesi che questi siano indipendenti dalla portata del fiume stesso. Dal bilancio idrologico dell'acquifero in esame emerge l'esistenza di un saldo negativo, ossia drenaggio dell'acquifero da parte del fiume, pari a circa il 4% del valore complessivo degli ingressi/uscite del bilancio stesso, che si aggira sui 1.10 Mm^3/anno. Il fiume Tirso risulta attualmente sbarrato ad una cinquantina di km dalla diga di Santa Chiara. L'azione regolatrice operata dalla diga ha causato una consistente diminuzione dei deflussi superficiali e di subalveo, influendo notevolmente anche sul regime delle acque sotterranee. A tale modifica del regime del corso d'acqua e dei suoi affluenti principali, caratterizzati da una serie di sbarramenti artificiali, è da ricondurre tale saldo negativo, seppure di limitata entità, per il bilancio idrologico dell'acquifero. Sostanzialmente il ruolo del fiume Tirso emerge ininfluente sull'equilibrio idrodinamico dell'intero acquifero freatico e più in generale sull'intero sistema di circolazione idrico sotterraneo della piana.

Carta delle precipitazioni

Le stazioni pluviometriche che ricadono nell'area in studio sono le stazioni di Oristano, S. Giusta, S. Anna, Simaxis, Santa Vittoria, e Mogorella. Tuttavia, anche se esterne all'area indagata con le proprie aree d'influenza, i dati provenienti dalle stazioni di Riola, Bauladu, Allai, Villa Verde, e Sassu Idrovora sono stati inclusi nell'analisi idrologica. Invece, le stazioni di Cabras e Fordongianus non sono state considerate in quanto le serie storiche sono incomplete e non costituiscono un campione statisticamente significativo, riportando

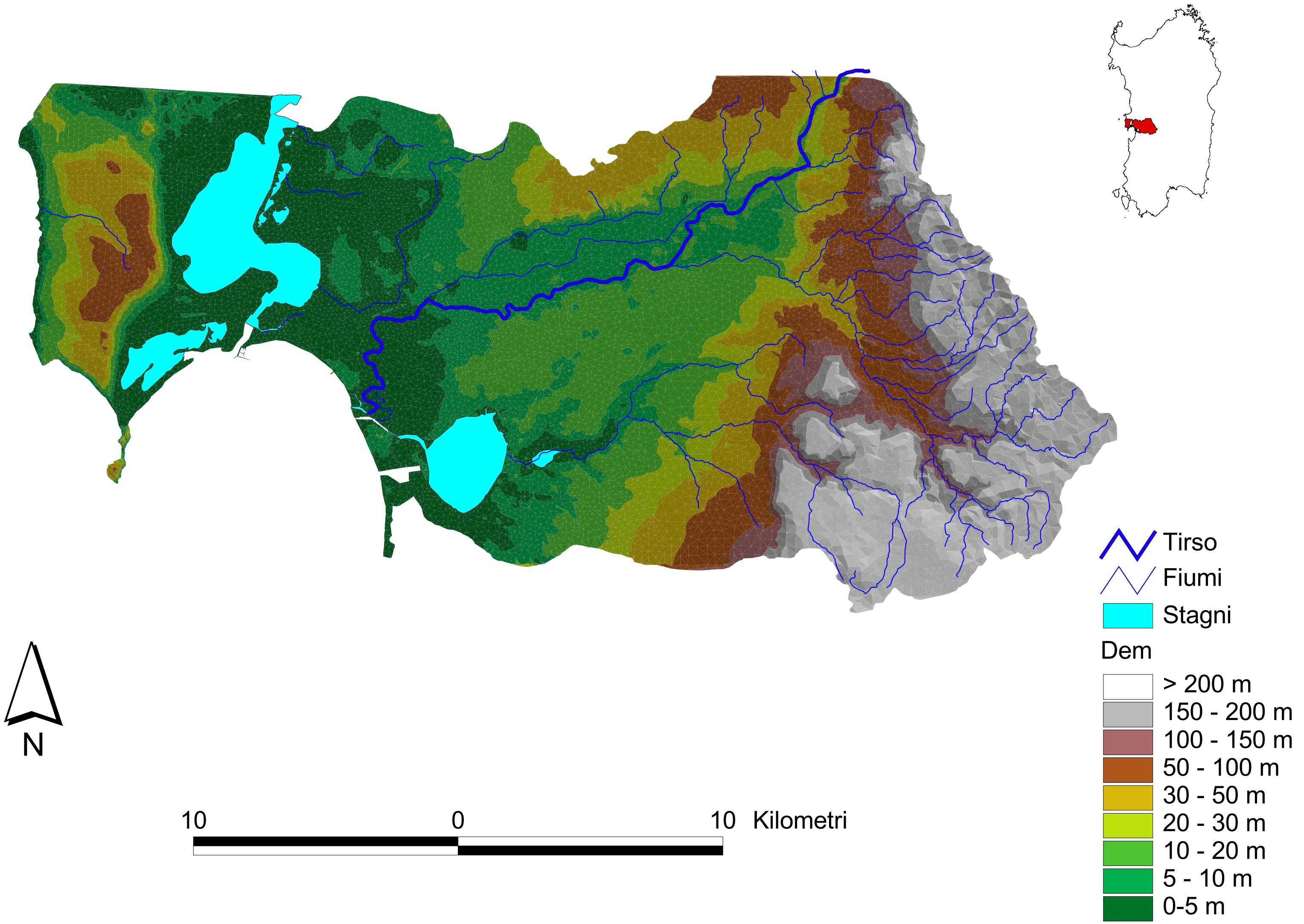

Figura 7: Modello tridimensionale del terreno (DTM) dell'area GIS.

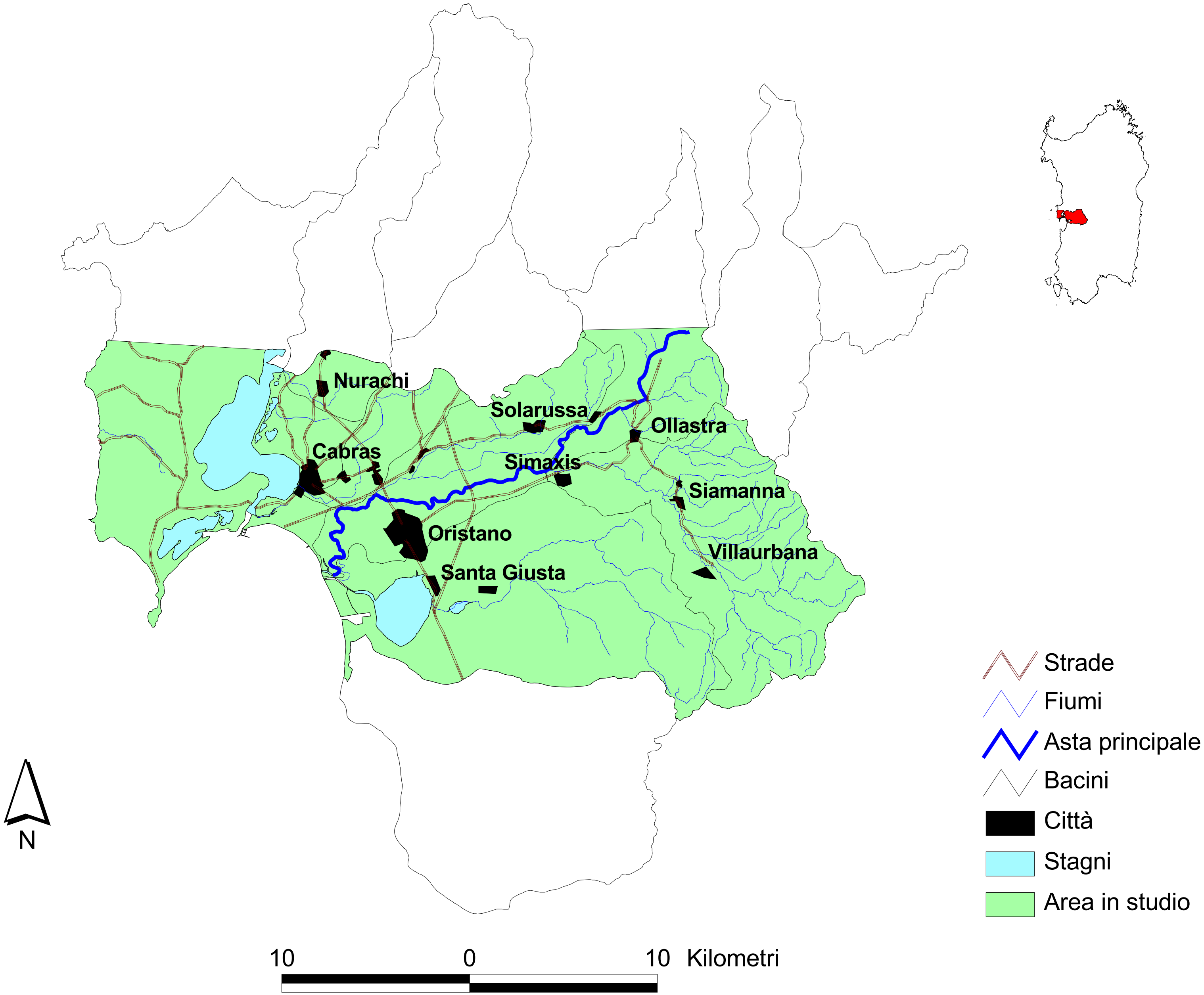

Figura 8: Idrografia superficiale estesa all'area GIS. Il fiume Tirso è evidenziato dalla linea più spessa.

solamente i dati pluviometrici registrati nel periodo 1922-1942 per la stazione di Cabras e nel periodo 1922-1943 per la stazione di Fordongianus. Le altre stazioni sono caratterizzate da serie storiche più o meno complete a partire dal 1922 ad oggi. I dati registrati sono dati in termini di precipitazione media giornaliera.

La piana di Oristano è caratterizzata da un regime pluviometrico di tipo marittimo, come è evidenziato nelle Figg. 9 e 10, dove si riportano le precipitazioni mensili media nelle stazioni di Oristano e Riola. Dalle rilevazioni si constata una graduale e continua diminuzione della piovosità nella zona. Tale crisi idrologica trova il suo apice nell'anno idrologico 1994-1995, con una diminuzione della piovosità rispetto alla media 1922-1999 di oltre 330 mm/anno. Altri anni idrologici estremamente deficitari sono quelli 1998-1999 e 1997-1998. Quella attraversata negli ultimi anni, 1992-1999, è stata la crisi idrologica più grave dell'ultimo settantennio. Tale crisi è inoltre più grave perchè inquadrata alla fine di un trentennio di basse precipitazioni. Attraverso l'analisi delle serie storiche complete (1922-2000) di alcune stazioni di interesse, viene evidenziato che l'ipotesi di stazionarietà delle serie storiche, alla base di molte teorie stocastiche (serie sintetiche), non risulta qui soddisfatta. Si rileva inoltre la forte tendenza che anni siccitosi siano seguiti da altri anni siccitosi. Nel database relazionale abbiamo inserito le medie mensili e quelle annuali inerenti ai periodi di rilevamento. Nelle Figg. 9-13 si riportano i dati rilevati mediati su base annuale nelle stazioni di Sassu, Oristano e Simaxis.

Carta dell'uso del suolo

Per la realizzazione della carta dell'uso del suolo ci siamo avvalsi del lavoro di tesi di laurea [2]. Tale carta, ottenuta tramite telerilevamento, ha un livello di dettaglio veramente apprezzabile. Tuttavia la carta dell'uso del suolo fornita è più piccola dell'area in studio. Abbiamo allora esteso i dati della carta dell'uso del suolo nella zona di applicazione del modello; tali dati sono necessari d'altronde per l'applicazione del modello stesso. Nell'area sono presenti in maggioranza colture seminative e cereali. Sono anche presenti vaste aree utilizzate a risaie, che esercitano una grande influenza sull'entità della ricarica superficiale al sistema acquifero e quindi sul regime idrologico sotterraneo. In Fig. 14 si riporta la carta dell'uso del suolo relativa all'area modello.

Isopieze nel sistema acquifero superficiale

Sono stati utilizzati i dati (formato xls) forniti dall'Università di Cagliari, riguardanti la campagna di censimento realizzata nell'ultima settimana di Gennaio 2000 su 127 pozzi [2]. I livelli piezometrici misurati sono in generale riferibili ad un regime idrodinamico. La falda difatti non può ritenersi in condizioni statiche (falda indisturbata), a causa dei continui pompaggi.

Si è proceduto poi alla digitalizzaione della linea di costa, lungo la quale il livello statico di falda è assunto pari a zero (condizione al contorno); questa funge da linea di riferimento per la ricostruzione della superficie di falda, ed è quindi stat digitalizzata rilevando 957 punti. L'interpolazione dei dati (di pozzo e della linea di costa) è stata ottenuta tramite

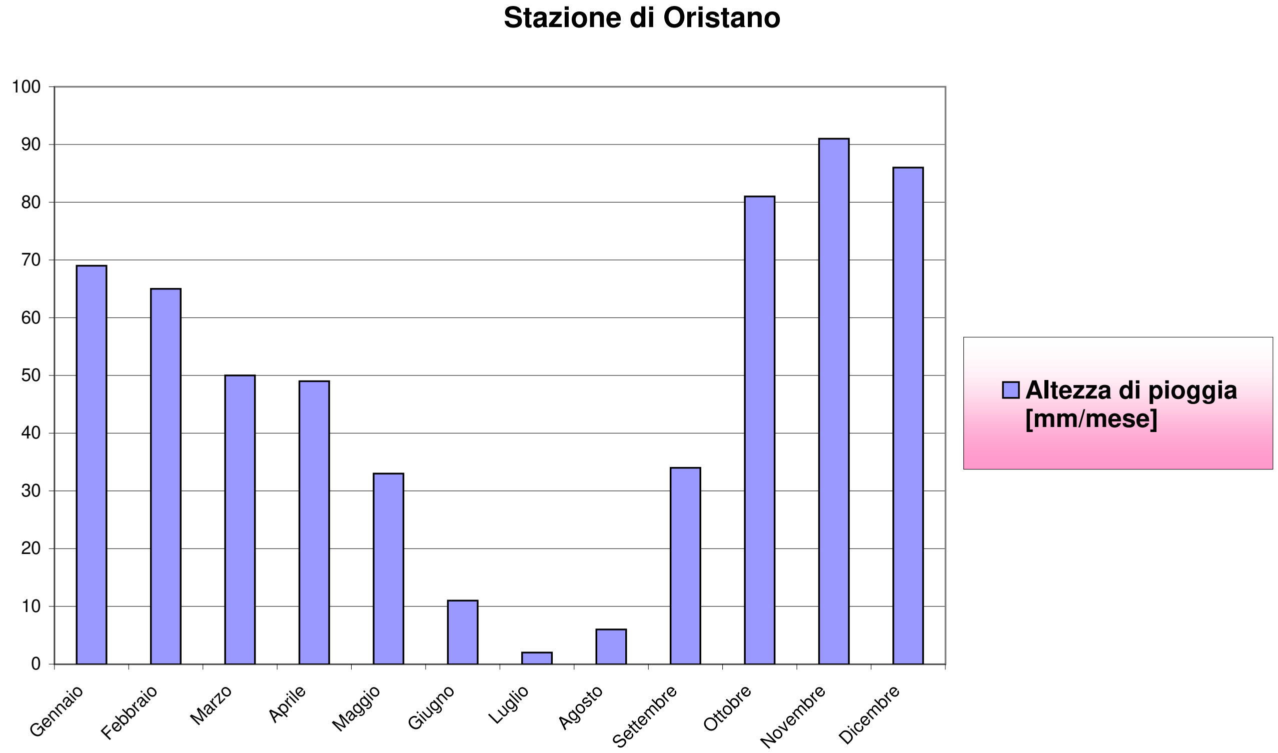

Figura 9: Precipitazioni medie mensili misurate nella stazione di Oristano dal 1922 al 1992.

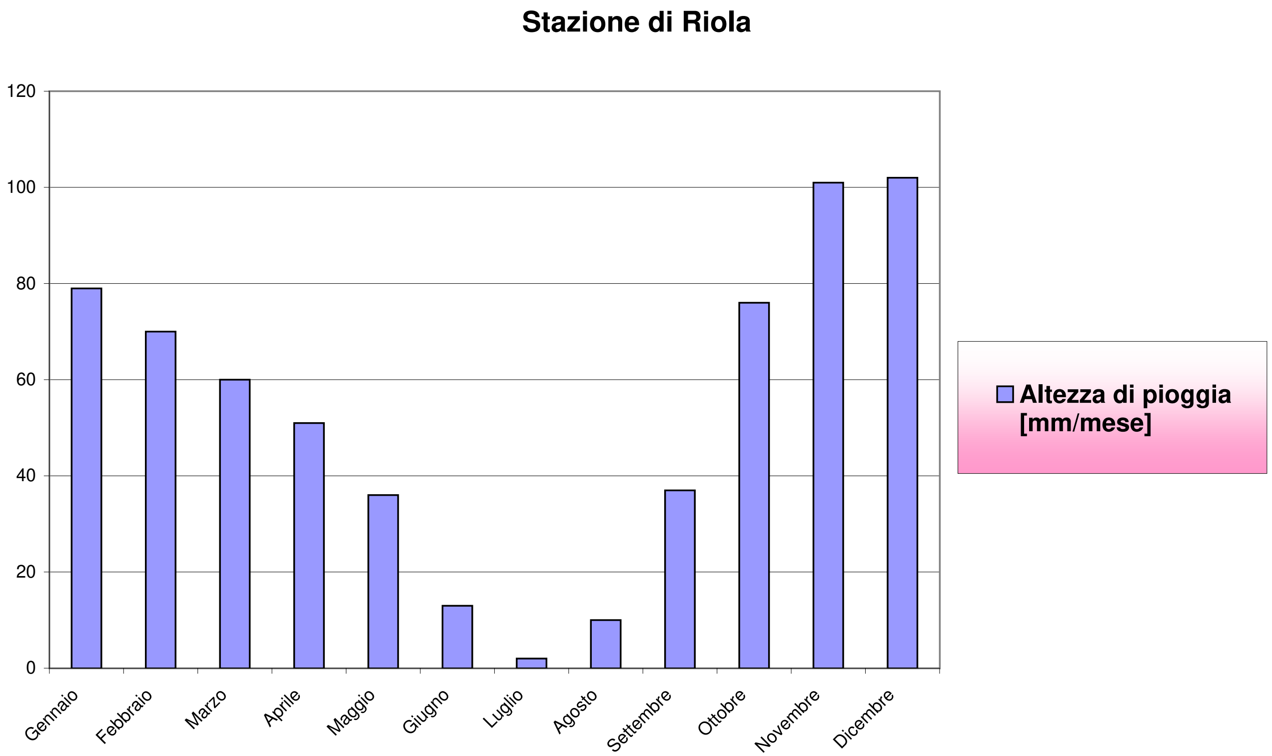

Figura 10: Precipitazioni medie mensili misurate nella stazione di Riola dal 1922 al 1992.

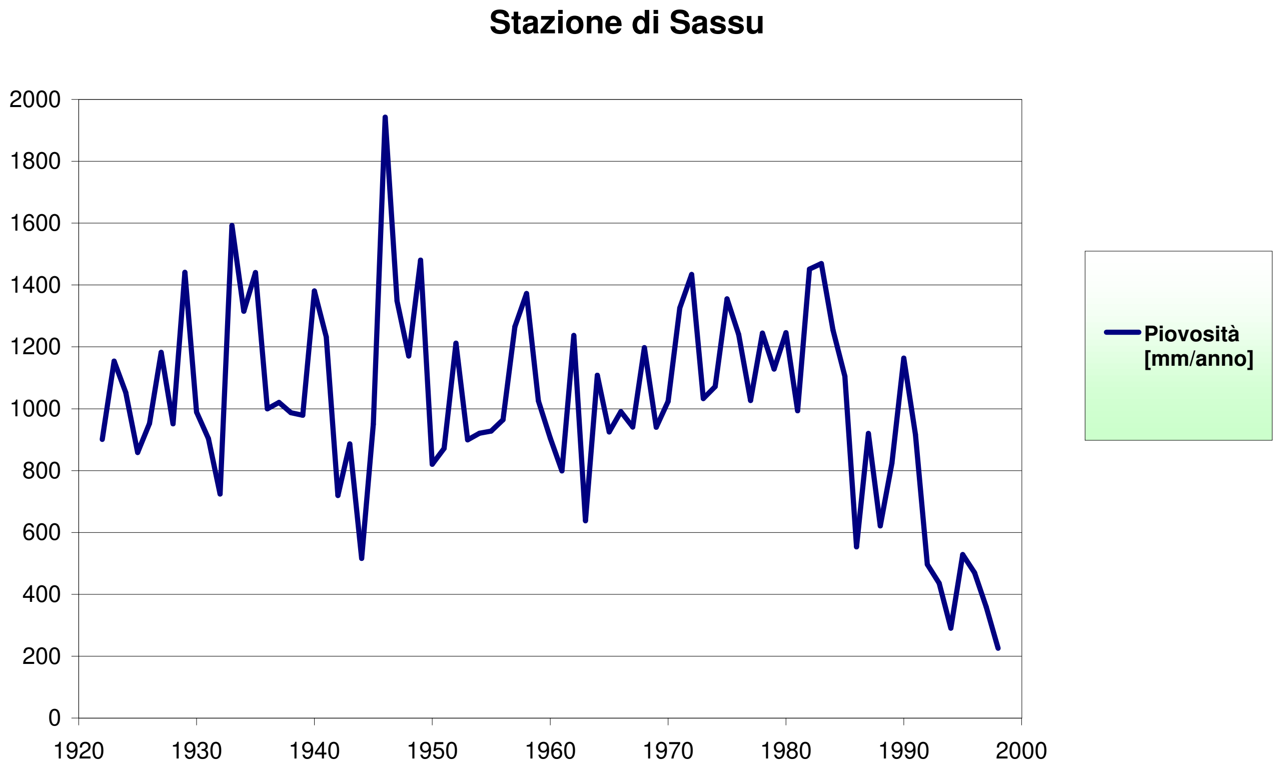

Figura 11: Andamento pluviometrico medio su base annuale nella stazione di Sassu dal 1922 al 1999.

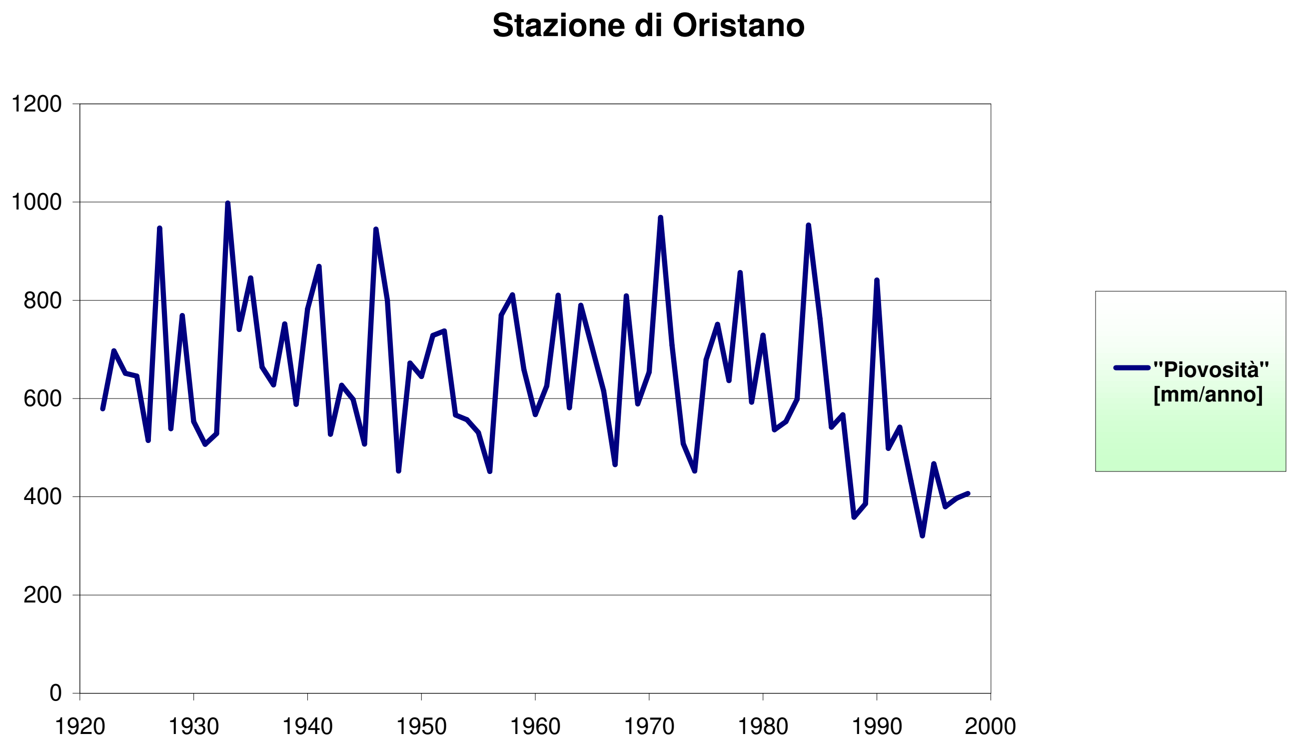

Figura 12: Andamento pluviometrico medio su base annuale nella stazione di Oristano dal 1922 al 1999.

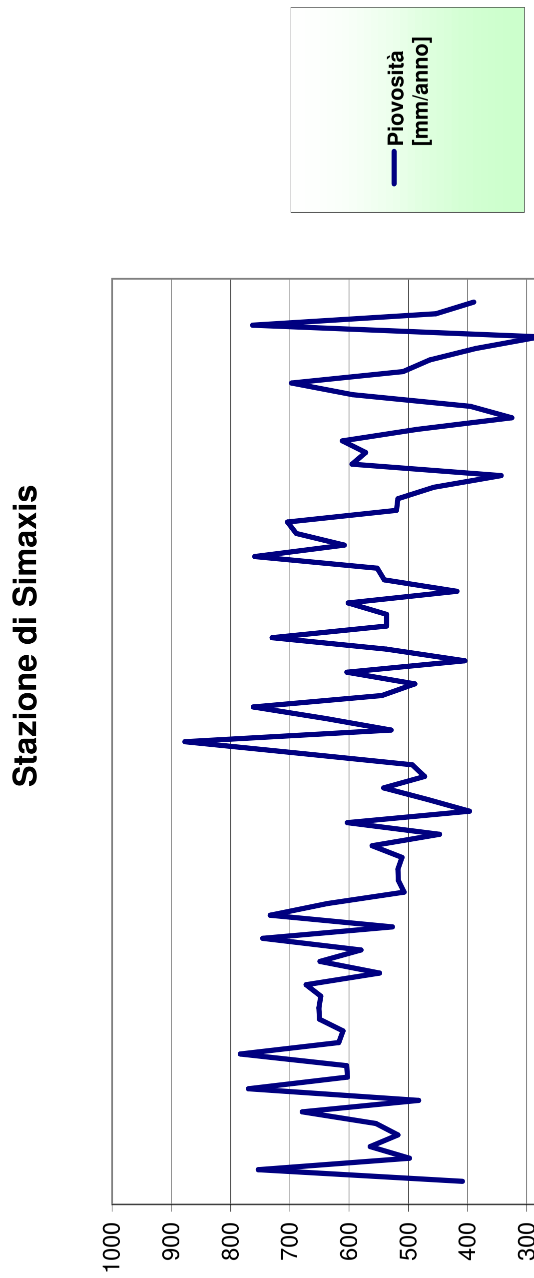

Figura 13: Andamento pluviometrico medio su base annuale nella stazione di Simaxis dal 1922 al 1999.

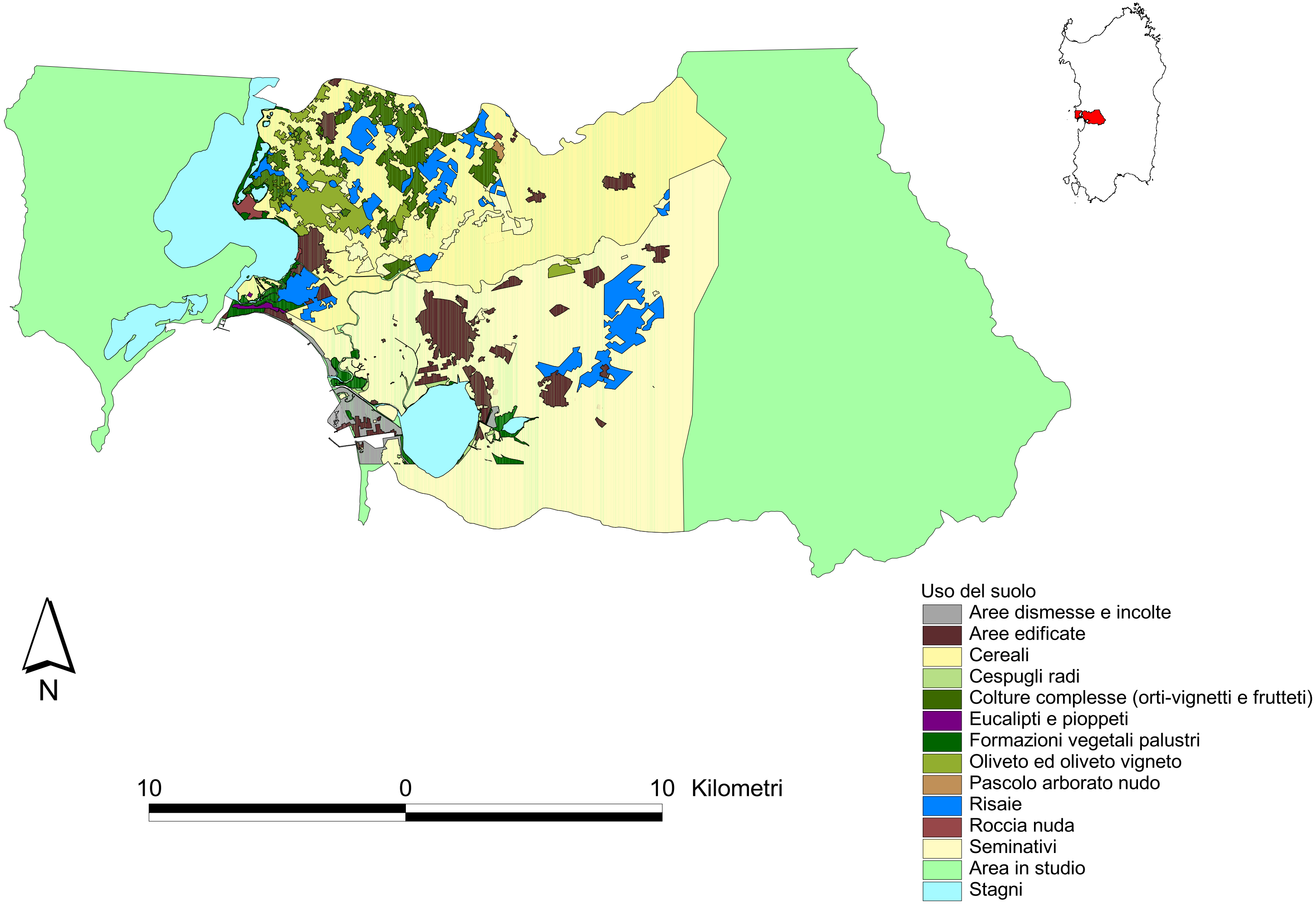

Figura 14: Carta dell'uso del suolo nella zona modello.

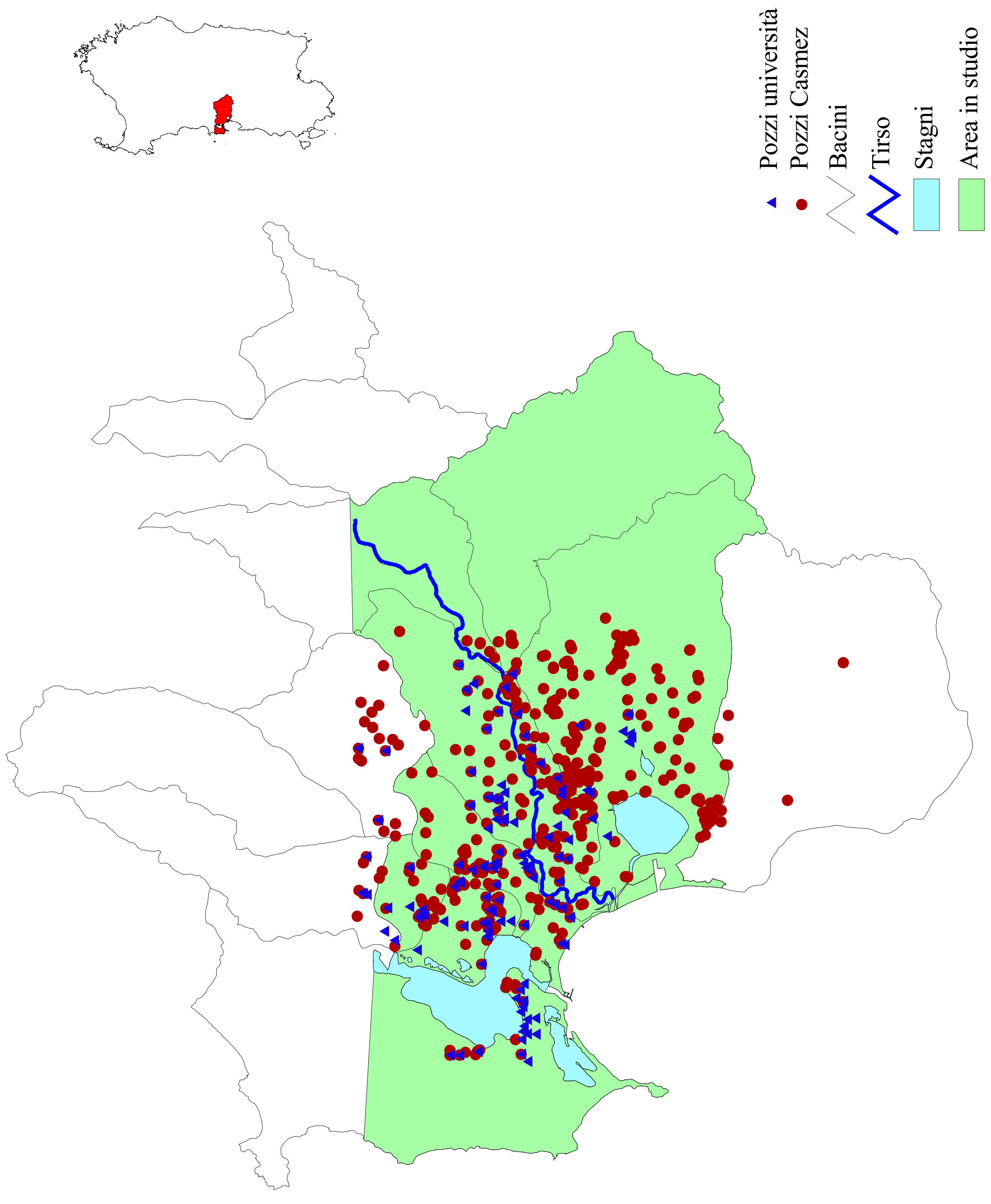

Figura 15: Localizzazione nell'area GIS dei pozzi utilizzati nell'interpolazione dei livelli di falda.

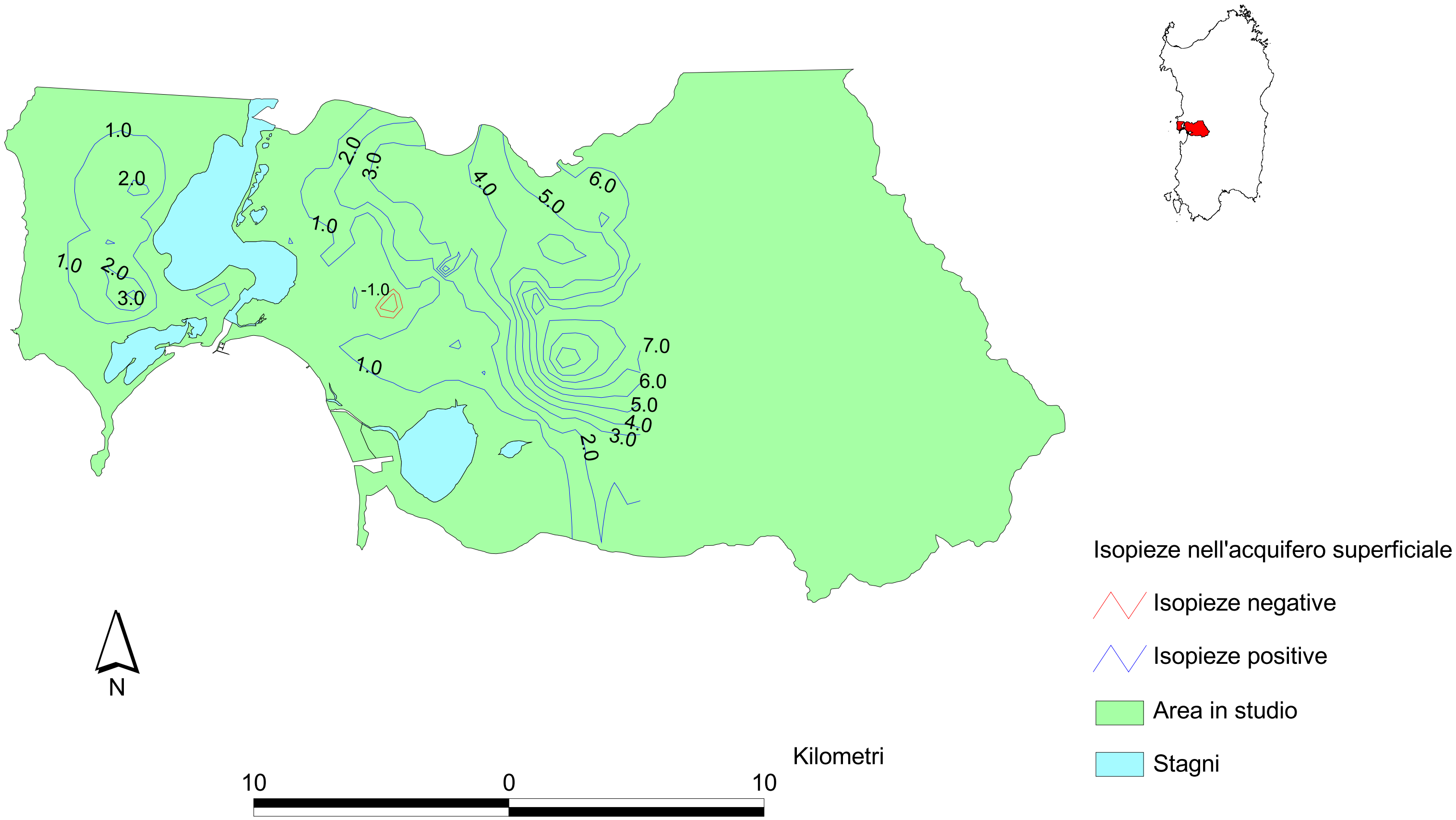

Figura 16: Linee piezometriche del livello di falda rilevate nell'ultima settimana di Gennaio 2000.

il metodo di Kriging (modulo di ArcInfo) con variogramma lineare senza drift. I risultati sono riportati in Fig. 16.

L'analisi delle linee piezometriche evidenzia che il flusso della falda è prevalentemente in direzione E-W. Localmente, a causa dei continui emungimenti, si sono ritrovati alcuni coni di richiamo contraddistinti da livelli piezometrici negativi. Questi sono localizzati principalmente nella zona tra Oristano e Cabras, dove le piezometriche tendono a chiudersi arrivando a quote anche di -5.7 metri rispetto al livello del mare. Altra zona depressa è risultata quella sopra Nurachi dove la piezometrica si abbassa fino ai -0,4 metri rispetto al livello del mare. Ultimo cono di depressione è situato presso Riola, dove la piezometrica si abbassa fino a -0,2 metri rispetto al livello del mare. Dall'analisi della carta idrodinamica si rileva nella penisola del Sinis una chiara zona di ricarica. Sembra esservi anche una linea spartiacque con piezometriche leggermente divergenti in direzione E-W. Gli assi di drenaggio seguono i corsi d'acqua

Misure di conducibilità elettrica del sistema acquifero superficiale

La ricostruzione delle curve di isoconducibilità elettrica è avvenuta, metodologicamente, in maniera analoga a quella della carta idrodinamica. La condizione al contorno è stata imposta tenendo conto dei diversi valori della conducibilità negli stagni e nel mare. Per la maggior parte delle colture presenti nella piana di Oristano e tenendo presenti gli standard delle altre utilizzazioni, appare adeguato prendere come valore limite 2500 mS/cm, valore imposto dalla Dlgs 152, cui corrisponde circa 1,9 G/l di TDS (Total Dissolved Solids) per le acque appartenenti alla classe 3 e 0. Si ricorda che il D.P.R. n. 236 del 24 Maggio del 1988 in attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, e il più recente DLgs 152/99, impongono un valore limite di conducibilità elettrica pari a 400 mS/cm per le acque destinate al consumo umano (classe 1). Tali valori sono riferiti alla temperatura di 20 °C, per cui la prima operazione fatta è stata la correzione dei valori della conducibilità misurata rispetto a tale temperatura. Dall'analisi delle curve di isoconducibilità elettrica, riportate in Fig. 17, si evince che sono presenti zone dove il valore limite di 2500 mS/cm viene abbondantemente superato. In tutta la penisola del Sinis difatti si hanno valori che superano addirittura i 24000 mS/cm. In questa zona i valori alti di conducibilità si riscontrano a partire dalla zona costiera, evidenziando un inizio d'ingressione marina. Altra zona caratterizzata da alti valori di conducibilità è tutta la fascia costiera la zona limitrofa gli stagni di Santa Giusta e quello di Cabras. Altro cono caratterizzato da alti valori di conducibilità è la zona di Massama, dove la conducibilità sale fin oltre ai 6000 mS/cm. Dall'analisi della carta si rileva quindi l'inizio di fenomeni di intrusione marina in tutta la zona costiera, in quella limitrofa gli stagni e nella penisola del Sinis. Partendo quindi dai limiti imposti dal Dlgs 152/99, che impone per le acque appartenenti alla classe 1 il limite di 400 mS/cm, si nota che il grado di vulnerazione chimica dell'acquifero è estremamente elevato. Si vede tuttavia che anche il limite di 2500 mS/cm, accettabile per acque adibite ad uso irriguo, viene superato in più zone e nella restante area la conducibilità si avvicina al limite citato. Per cui l'acqua del Campidano è in generale non potabile, e di qualità scadente anche per gli altri utilizzi.

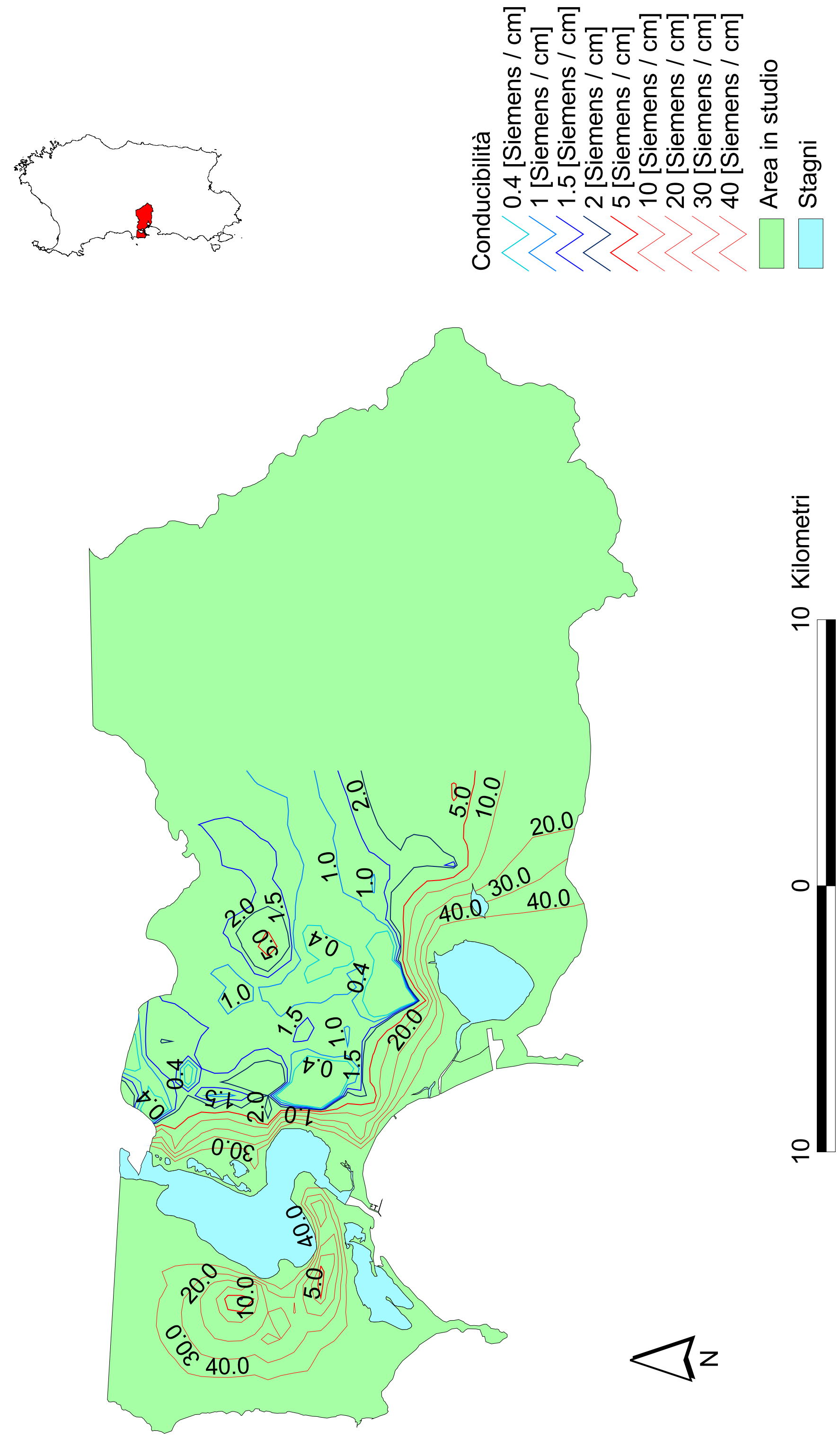

Figura 17: Linee di isoconducibilità elettrica nell'acquifero oristanese misurate nel Gennaio 2000.

Ricostruzione tridimensionale

Una delle parti particolarmente impegnative dello studio del sito di Oristano ha riguardato la ricostruzione tridimensionale della zona in studio. Detta ricostruzione è di importanza fondamentale per poter usare il modello di calcolo e far girare le simulazioni sui casi test. Qui di seguito viene descritta la procedura usata per giungere alla definizione della riscostruzione tridimensionale.

Dati a disposizione. Una ricostruzione tridimensionale di un sito richiede la caratterizzazione lungo le tre coordinate (x, y, z) del terreno, sia in termini di confini spaziali, sia in termini di proprietà fisiche, idrologiche, etc.

In prima istanza, è importante considerare i limiti spaziali del dominio, ovvero la superficie e il fondo dell'acquifero considerato, e infine l'estensione orizzontale della zona considerata. Ognuno di questi ha richiesto una procedura dedicata al fine delle propria determinazione. Per quanto riguarda la superficie, quest'ultima e' stata determinata attraverso l'uso del DEM (digital elevation model) (Fig. 7). Data la scala a cui si intende lavorare, la campionatura dei punti del DEM per la zona in studio risulta molto accurata e permette di fare una riscostruzione molto fedele alla realtà.

Ben diversa invece risulta la situazione per quanto riguarda la ricostruzione del fondo dell'acquifero. Il primo problema affrontato è la definizione del "fondo" dell'acquifero, dato che a seconda del tipo di studio che si intende fare cambia il riferimento. Nel caso in esame, si è preso come riferimento per definire la base inferiore del nostro dominio l'inizio dello strato basaltico, anche se tale scelta ha implicato un certo numero di approssimazioni, dovute sia alla metodologia usata che alla scarsità di dati relativi all'acquifero profondo. La procedura seguita è la seguente:

- dapprima si è considerato l'insieme dei pozzi noti nella zona di Oristano;
- dato l'alto numero di pozzi presente, si è selezionato un sottoinsieme di pozzi, ognuno dei quali rappresentativo della zona in cui è situato. Questo risulta utile per il fatto che le informazioni ricavabili dai dati disponibili per ogni pozzo non sono complete, per cui il considerare un "cluster" di pozzi per estrarre le informazioni di un generico pozzo singolo per ogni zona è stata una scelta obbligata. In tabella 1 vengono riportate le coordinate dei pozzi in studio;
- sulla base delle informazioni ricavate da questa media preliminare, viene stimato l'insieme delle coordinate del fondo dell'acquifero (vedi tabella 1 per i valori).

A partire dai dati sopra menzionati viene effettuata la ricostruzione tridimensionale parametrica delle due superfici, attraverso l'uso di funzioni spline. Tale ricostruzione spaziale e' stata eseguita mediante l'uso di IDEAS [3], un software specifico per modellazione tridimensionale. La riscostruzione è parametrica, nel senso che è un insieme di funzioni che genera una superficie non limitata nello spazio. Per questa ragione viene applicata una limitazione alla riscostruzione, imponendo che essa sia valida all'interno di una poligonale che delimita la zona in studio. Il risultato di questa ricostruzione viene mostrato nelle Figure 18 e 19 da due angolazioni diverse.

Quanto sopra descritto è stato utile per definire la ricostruzione spaziale del dominio allo studio ma non la sua caratterizzazione. È infatti di fondamentale importanza l'attribuzione delle proprietà del suolo in termini di permeabilità, porosità, densità, etc. e la loro distribuzione spaziale. In questo caso il problema da affrontare è molto più complesso, dato che oltre all'incertezza legata al dato stesso (la stima della permeabilità è una misura soggetta a grossi errori), vi è l'incertezza della sua distribuzione spaziale. Per fare un esempio concreto, i dati disponibili per attribuire le caratteristiche del suolo derivano dalla carta pedologica (tessitura e caratteristiche del terreno superficiali) e geologica (caratteristiche del suolo profondo) e dalle informazioni derivanti dai pozzi trivellati o carotaggi per il quale siano stati raccolti dati sulla stratigrafia. Le carte suddette si basano anch'esse su dati puntuali che, nel caso di terreni omogenei (prima classe), permettono il calcolo di distribuzioni affidabili delle proprietà in studio anche su piccola scala, mentre nel caso di terreni eterogenei o fortemente eterogenei (seconda classe), hanno affidabilità solo a grande scala e in zone di media o piccola scala possono invece risultare estremamente imprecise. La zona in studio viene annoverata in questa seconda classe, dato che dai dati rilevati da gruppi di pozzi vicini tra loro non si hanno rilevazioni raramente consistenti fra loro. Pozzi distanti fra loro 50-100 metri forniscono informazioni su, per esempio, la posizione dello strato argilloso non sempre concordi e in alcuni manca del tutto tale strato. Questo implica che lo strato argilloso sia discontinuo e quindi la sua distribuzione non ricavabile per il sito in studio (vedi mappa della permeabilità). Esiste però una seconda e più forte implicazione di questo fatto e cioè che non esiste una netta divisione fra la falda superficiale e la falda profonda e queste non possono essere trattate come unità indipendenti. In realtà, in funzione del periodo e dalla quantità della ricarica (stagione, piogge, evaporazione, etc.) la situazione più verosimile è che vi siano degli acquiferi sospesi sulle lenti di argilla presenti in tutta nella zona in studio, la cui localizzione spaziale però risulta estremamente difficile.

Stanti queste difficoltà, la mappatura della permeabilità della zona è prevista in 2 fasi distinte: la prima sarà fatta partendo dai dati disponibili da misure, carte e mappe, e prelievi; la seconda sarà portata a termine attraverso la calibrazione del modello in modo da riprodurre il campo di potenziale idraulico misurato nella zona in studio. Quest'ultima grandezza deriva da un insieme di misure dalle quali si ricostruiscono le curve piezometriche che vengono usate come funzioni obiettivo dal codice di calcolo. In alcuni casi molto semplici e di piccole dimensioni, la calibrazione della mappa di permeabilità viene fatta da appositi programmi in modo automatico, ma nel caso in studio lo sforzo computazionale sarebbe proibitivo, per cui si arriverà alla calibrazione attraverso una procedura di "trial-and-error" manuale. Questa procedura permetterà di arrivare ad una configurazione delle proprietà del terreno in grado di descrivere il comportamento del sistema nelle condizioni di riferimento e di esserne, possibilmente, sufficientemente rappresentativa. Un lavoro utile alla calibrazione di modello di flusso è stato fatto dall'Hydrocontrol di Cagliari [5] per una zona in parte contenuta nella zona in studio.

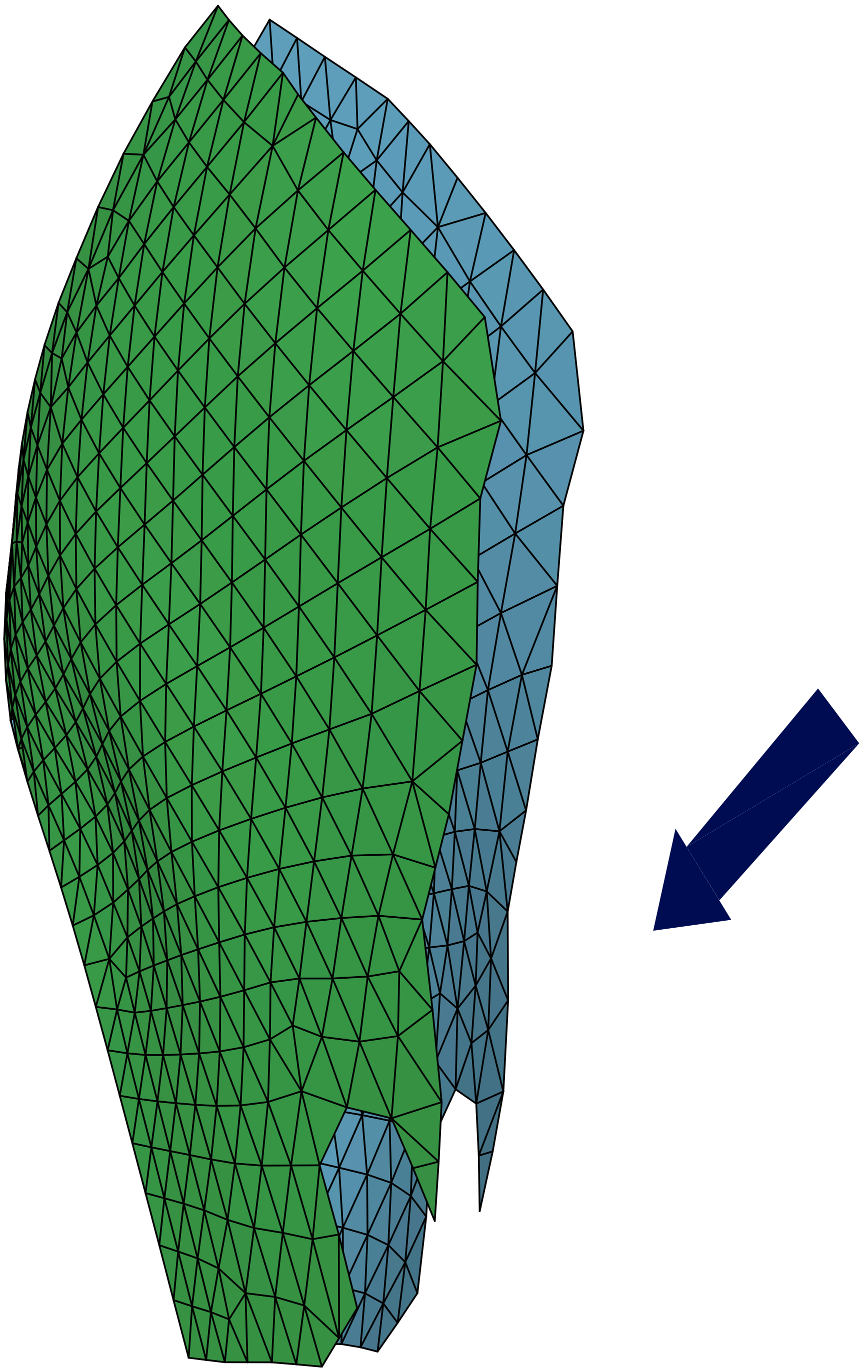

Figura 18: Ricostruzione tridimensionale dell'acquifero di Oristano: osservatore posto a Ovest - Sud Ovest.

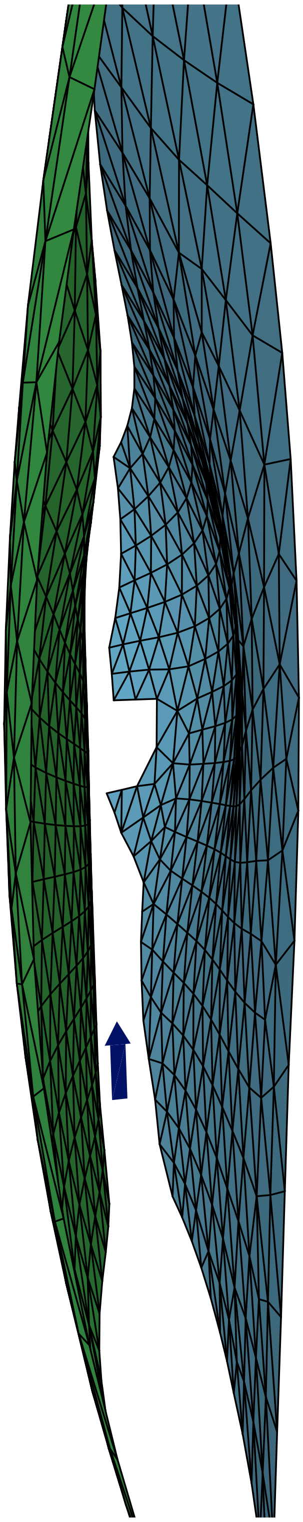

Figura 19: Ricostruzione tridimensionale dell'acquifero di Oristano: osservatore posto a Est.

Tabella 1: Coordinate (Gauss-Boaga) della zona selezionata

#	x (-)	y (-)	quota (m)	base geometrica (m)
1	1461879	4411822	0	100
2	1470596	4411822	15	110
3	1473947	4411822	32	40
4	1474987	4420951	10	70
5	1472429	4421387	8,5	115
6	1466377	4427817	8,5	50
7	1458966	4425842	1	200
8	1456172	4427814	9	50
9	1459265	4421227	1,7	200

Riferimenti bibliografici

[1] A. Aru, P. Baldaccini, and A. Vacca. *Nota illustrativa della carta dei suoli della Sardegna.* La Stef. SPA, Cagliari, 1991.

[2] Pierluigi Cau. Vulnerabilità dell'acquifero superficiale del Campidano di Oristano: il metodo SINTACS. Tesi di laurea, Università degli Studi di Cagliari, Dip. Ingegneria del Territorio, 2000.

[3] Structural Dynamics Research Corporation. SDRC and SDRC I-DEAS^{TM} . Technical report, Structural Dynamics Research Corporation, 2000 Eastman Drive, Milford, OH 45150, 1997.

[4] C. Gallo, G. Lecca, C. Paniconi, and M. Putti. Progetto PST/MURST "Ambiente e Territorio" Linea "Tecnologie avanzate per la gestione delle acque" Parte "Software per la modellistica ambientale" Fase n. 1.3.5.5.1 - Risultato 5.5.1.a – Descrizione dei siti selezionati e i loro dati. Rapporto tecnico, CRS4, Marzo 2000.

[5] Hydrocontrol. Effetti dei cambiamenti climatici sulle disponibilità idriche e relative conseguenze sulla gestione delle risorse superficiale e sotterranee nel Meridione d'Italia. Report finale., HYDROCONTROL, Ottobre 1997.

[6] A. Pala and M. Cossu. Idrogeologia di un settore del Campidano di Oristano. *Rend. Sem. Facoltà Scienze Univ. Cagliari*, 64(1):97–115, 1994.

Tabella 2: Coordinate (Gauss-Boaga) del contorno delimitante la zona in studio

#	x (-)	y (-)	quota (m)
1	1458882	4427716	3,70
2	1462517	4427716	0,15
3	1464160	4427716	0,00
4	1467495	4427716	5,00
5	1469667	4427716	13,24
6	1473868	4427716	40,00
7	1475112	4426173	77,00
8	1476506	4424530	44,00
9	1476158	4422688	26,00
10	1475909	4421145	10,00
11	1475411	4418406	9,50
12	1474963	4416216	17,20
13	1474814	4414025	19,00
14	1474565	4411934	20,00
15	1474167	4411038	24,40
16	1472374	4410789	48,00
17	1470433	4410491	60,00
18	1468242	4410441	36,00
19	1466649	4410441	20,00
20	1464657	4410441	10,00
21	1464381	4410459	5,80
22	1463263	4411088	3,80
23	1462900	4411915	2,50
24	1461621	4413328	2,70
25	1460774	4415021	2,40
26	1460227	4416415	0,00
27	1458384	4417610	0,00
28	1457389	4418705	0,00
29	1458833	4418855	0,00
30	1459530	4419850	0,00
31	1459330	4421145	0,00
32	1457389	4421344	0,00
33	1457190	4422887	0,00
34	1457837	4424480	0,00
35	1458484	4426223	0,00
36	1459131	4427766	0,00