**Gruppo Informale per la Geotermia e l'Ambiente**
associazione "no profit" riconosciuta

# PERMESSO DI RICERCA GEOTERMICO "GUSPINI"

Giuliano Gabbani, Giampaolo Mariannelli, Enrico Pandeli, Alessandro Ronconi, Sauro Valentini

## RELAZIONE IDROGEOLOGICA

Firenze, 10/09/2013

Redattori:

**Giuliano Gabbani**[(1)(2)], **Enrico Pandeli**[(1)(2)], **Sauro Valentini**[(1)], **Alessandro Ronconi**[(1)], **Giampaolo Mariannelli**[(1)]

(1) Gruppo Informale per la Geotermia e l'Ambiente, associazione no profit
via Marconi, 30 - 50100 Firenze

(2) Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Firenze
via La Pira, 4 50100 Firenze

Direzione: **prof. Enrico Pandeli** - *Docente di Geologia, di Geologia Regionale e di Geotermia (DST, Università di Firenze)*

Coordinamento: **prof. Giuliano Gabbani** - *Docente di Esplorazione Geologica del Sottosuolo, di Idrogeologia e di Idrogeologia Applicata (DST, Università di Firenze)*

**Caratteristiche idrologiche e idrogeologiche dell'area del permesso di ricerca**

Dai dati climatici disponibili per il periodo 1961-90, risulta che nell'area in esame le temperature oscillano da massime intorno ai 23°C a minime intorno a 12°C, con una media di 16°C; le precipitazioni medie annue invece variano tra i 600-700 mm.

L'aspetto idrografico e idrogeologico risulta estremamente condizionato dalle strutture geologiche e dalle differenti forme del paesaggio ereditate dagli eventi più recenti. L'unità idrografica principale del Campidano è rappresentata dal Flumini Mannu, uno dei fiumi più importanti dell'isola.

Le acque drenate nelle zone limitrofe alla piana campidanese vengono convogliate prevalentemente verso due diversi collettori: il primo, che drena la maggior parte dei corsi d'acqua che scorrono nell'area, è costituito dal Flumini Mannu di Pabillonis (di cui sono tributari il Flumini Belu e il R. d'Aletzia) che scorre verso NO, per poi sfociare nello Stagno di San Giovanni; il secondo Il Flumini Mannu (di Samassi) che nasce dal Tacco del Sarcidano, attraversa le regioni della Marmilla e della Trextenta, quindi percorre il Campidano verso SE, andando a sfociare nello Stagno di Cagliari. Il corso principale percorre la fossa campidanese in direzione parallela alle sue direttrici strutturali (NO-SE) e, probabilmente, si è impostato in corrispondenza di una serie di faglie longitudinali del graben. I tratti percorsi dagli affluenti e dallo stesso Flumini Mannu sui due horst, sia in destra che in sinistra idrografica, hanno invece direzioni circa NE-SO. Le aree di alimentazione principali di tutto il sistema di affluenti dei due rami del Flumini Mannu sono localizzate nei rilievi montuosi paleozoici e solo subordinatamente in quelli collinari cenozoici.

La morfologia del reticolo idrografico risente delle condizioni climatiche e dei fattori strutturali della regione; il reticolo di tipo sub-parallelo è estremamente sviluppato e presenta localmente ramificazioni dendritiche. I corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime stagionale il cui deflusso dipende dalla frequenza e intensità degli eventi piovosi; si ricordano tra i principali Rio Leonaxis, Riu Pau, T. Leni e il Flumini Belu.

Per quanto riguarda le risorse idriche, il Campidano rappresenta il serbatoio sotterraneo più importante della Sardegna e di fatto è sfruttato da un numero notevole di pozzi. L'andamento piezometrico della falda quaternaria del Campidano defluisce per metà verso il Golfo di Oristano a Nord-Ovest, per l'altra metà verso il Golfo di Cagliari a Sud-Est con una pendenza dell'ordine del 0,2%. Lo spartiacque

sotterraneo si colloca all'incirca sulla linea Villacidro-Sanluri, nel baricentro della Pianura.

Nell' area considerata affiorano rocce con caratteristiche idrogeologiche molto diverse. Infatti, in base al grado e al tipo di permeabilità, i litotipi presenti nel bacino possono essere distinti nelle seguenti classi principali:

- rocce generalmente a bassa permeabilità. Comprendono le rocce più o meno metamorfiche del basamento paleozoico ed in particolare. Comprendono ad esempio le Arenarie di San Vito e la Formazione di Solanas (metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati). Anche per queste rocce la permeabilità può aumentare per fratturazione in corrispondenza di aree tettonizzate. Infatti, in corrispondenza dei grossi lineamenti tettonici fragili queste rocce fratturate costituiscono in profondità il serbatoio dei fluidi geotermici.

In questo gruppo a bassa permeabilità possono essere inseriti anche i sedimenti argillosi e marnosi di età terziario-neogenica (es. i litotipi marnosi della Formazione di Samassi del pliocene) e quaternaria che risultano pressoché impermeabili.

- rocce a permeabilità da bassa a media per porosità e fratturazione. Questa classe comprende le lave andesitiche, le ignimbriti riolitico-riodacitiche e tufi dell'Oligo-Miocene. La permeabilità può aumentare con a fessurazione tettonica della roccia.

- rocce a permeabilità media. Questa classe comprende i conglomerati, calcari marnosi, le arenarie e le siltiti plioceniche della Formazione di Samassi (essenzialmente argilloso-marnosa) che localmente possono ospitare qualche limitata falda. La permeabilità di queste rocce può aumentare in coincidenza di locali fenomenologie di tipo carsico che possono impostarsi sui litotipi a componente calcarea e con l'aumentare della fessurazione della roccia.

Inoltre, rientrano in questo gruppo le lave basiche del vulcanismo plio-quaternario. In queste rocce la permeabilità può mostrare talora valori anche piuttosto elevati, in coincidenza di aree intensamente fratturate o per la presenza di livelli scoriacei o di intercalazioni di depositi clastici continentali.

- rocce a permeabilità da media a medio-alta per porosità. Questa classe

comprende i sedimenti clastici quaternari, ovvero i detriti di falda (in genere caratterizzati da permeabilità piuttosto alta), nonché le alluvioni antiche terrazzate e recenti.

- rocce a permeabilità alta per fratturazione e carsismo. Questa classe comprende le rocce calcaree e dolomitiche del Paleozoico e del Mesozoico.

In generale, nel Campidano le risorse idriche sotterranee sono presenti nei terreni alluvionali antichi e recenti (Pliocene superiore-Olocene). Sono presenti in larga parte come acquiferi liberi, ma anche più o meno profondi, sempre a prevalente alimentazione fluviale. Le falde freatiche risultano così localmente interessate da problemi d'inquinamento antropico. Le acque artesiane provenienti dalle falde profonde, tipiche in certi settori del Campidano (piana di Oristano e di Cagliari), sono scarse o assenti nella zona in esame.

Anche altre situazioni idrogeologiche, come le strutture tabulari formate da effusioni basaltiche (le "giare") possono dare luogo a serbatoi idrici. Tra queste, è interessante la Giara di Gesturi, a E di Oristano, un altopiano formato da basalti permeabili per fatturazione e poggiati su sedimenti terrigeni impermeabili. Questa particolare situazione idrogeologica spiega il gran numero di sorgenti sgorganti al limite di permeabilità, ovvero alla base dei tavolati basaltici.

Infine sono molto note le manifestazioni termali sono allineate lungo bordi della fossa campidanese, ovvero lungo i sistemi di faglie bordiere del graben.

Le principali emergenze (Dettori et al., 1982) sono rappresentate dalla sorgente di S.Maria de Is Acquas sul bordo orientale presso Sardara, mentre sul bordo occidentale si trovano le sorgenti di S'Acquacotta (più a sud-est di questo Permesso di Ricerca, a circa 10 Km da Villasor), e di Sa Guardia e Su Concali di S.Maria, a SW di Uta. Manifestazioni, senz'altro di minore importanza, sono presenti anche all'interno del Campidano, come i pozzi della fonderia di S.Gavino ed alcune sorgenti e pozzi presso Decimoputzu. In particolare:

a) La sorgente di S.Maria De Is Acquas, che si manifesta con diverse emergenze localizzate in un'area abbastanza ristretta di circa 5000 mq, ha una temperatura di 54°C (fino a 68°C) ed una portata complessiva stimata in 10 l/s .

b) A S'acquacotta la temperatura è di circa 48°C e la portata circa 6 l/s .

c) Le sorgenti di Sa Guardia e di Su Concali di S.Maria, generalmente captate da pozzi, hanno temperature rispettivamente di 34°C e 23°C, portata dell'ordine di qualche l/s, salinità intorno a 1g/l.

d) Le acque dei pozzi della fonderia di S.Gavino hanno temperature comprese tra 23°C e 29°C, salinità diverse e crescenti con la temperatura (da 0.7 a 2.9 g/l circa) e chimismo a bicarbonati alcalini prevalenti.

e) Le sorgenti presso Decimoputzu hanno gli stessi caratteri chimici delle altre acque termali del Campidano, mentre le acque del pozzo dell'acquedotto della stessa località presenta invece una prevalenza di cloruri alcalini sugli altri sali disciolti.

Tutte queste acque mostrano parametri chimico-fisici sostanzialmente costanti nel tempo (Dettori et al., 1982).

Le sorgenti termali sono strettamente legate alla situazione geotermica del sottosuolo del Graben del Campidano che verrà descritta nel paragrafo successivo.

Le acque termali del Campidano (S.Maria Is Acquas, S'Acquacotta, Su Concali) emergono lungo i bordi del graben con temperature fino a 60°C, una composizione chimica bicarbonato alcalino sodica, pH neutro e salinità fino a 3,3 g/l (1,9 g/l a S'Acquacotta). Tutte queste acque sono caratterizzate dalla presenza di $CO_2$ e $N_2$ in fase gassosa (Minissale *et al.* 1999). E' da sottolineare che la sorgente della $CO_2$ e di $^3He$ risulterebbe più profonda rispetto al circuito delle acque termali (Caboi & Noto, 1982). Le acque del Graben del Campidano mostrano generalmente un basso contenuto di Ca (generalmente <50 mg/l o <2.5 meq/l) e Mg (generalmente < 15 mg/l o < 1.23 meq/l) con importante contenuto in bicarbonato rispetto agli altri anioni (Tabella 1) (Dettori *et al.*, 1982; Frau, 1993). Ne risulta così un chimismo delle acque bicarbonato alcalino (Bertorino *et al.*, 1982). Inoltre, i dati del contenuto in elementi minori ed in traccia (Tabella 2, Frau, 1993) farebbero ipotizzare per le acque termali un contributo di più dell' 80% da parte dei circuiti idrologici profondi (Balia et al., 1985). Sulla base di studi isotopici sul $\delta D$ e $\delta O^{18}$ è stata stabilita un origine meteorica per tutte le acque calde e fredde dell'area del Campidano con una quota di ricarica compresa tra 300 e 600 m s.l.m. (Bertorino et al., 1982; Caboi & Noto, 1982). Le acque, dopo essersi infiltrate nel sottosuolo fino all' interno delle rocce metamorfiche del basamento

paleozoico e aver acquisito le caratteristiche termali, risalgono poi in superficie lungo le faglie bordiere del graben (Fig. 1). Nell'area di Sardara è stata stimata (D'Amore *et al.*, 1987) una temperatura profonda tra 100 e 120°C, tra 90 e 110°C a S'Acquacotta e 100°C a Su Campu (Proto et al., 2001); valori di poco più alti (tra 104°C e 139°C) sono stati invece ottenuti da Bertorino et al.(1982).

Alcuni elementi minori e in tracce sono riportati in Tabella 2. A Sardara, sulla base del contenuto degli elementi minori, la componente profonda delle acque termali delle sorgenti è stata calcolata in circa l'80%; infatti le indagini geoelettriche hanno identificato una risalita verticale di acqua termale lungo una fascia di circa 50 m vicina alle sorgenti più calde (Balia *et al.*, 1999). Le sorgenti che hanno temperature più base derivano dal mescolamento di acque termali e acque fredde (vedi schema della circolazione dei fluidi in fig.1).

| *Samples* | *Location* | *T* °C | *Sal.* mg/l | *pH* | *Free gases* | *Aquifer*[1)] | *Na* | *K* | *Ca* | *Mg* | $HCO_3$ | *Cl* | *SO4* | *Si* | *F* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | mg/l | | | | | | | | |
| Sardara | Eastern border | 55 | 3328 | 7,20 | $CO_2+N_2$ | Gr (+Sch) | 870 | 41 | 27 | 6,7 | 1746 | 512 | 77 | 22 | 12,0 |
| Acquacotta | Western border | 45 | 1908 | 6,79 | $CO_2+N_2$ | Gr (+Sch) | 517 | 21 | 34 | 13 | 908 | 322 | 50 | 19 | 7,9 |
| Su Concali | Western border | 24 | 929 | 7,15 | - | Gr (+Sch) | 174 | 7,4 | 60 | 29 | 401 | 193 | 40 | 12 | 2,3 |
| Ped. Montaldo | Western border | 22 | 1528 | 7,00 | - | Gr (+Sch) | 374 | 15 | 42 | 6,7 | 738 | 262 | 52 | 18 | 5,7 |
| Su Campu | Central-eastern graben | 43 | 4524 | 8,64 | $N_2$ | Gr (+Sch+ And) | 1012 | 7,2 | 631 | 0,4 | 17 | 2540 | 287 | 14 | 3,6 |

[1)] Gr = granite rocks; Sch = schistose rocks; And = andesite rocks

Tabella 1: Composizione chimica delle acque termali del Campidano (da Frau, 1993).

| *Samples* | *Location* | *Li* | *Rb* | *Cs* | *Tl* | *B* | *Ge* | *Mo* | *W* | *Ga* | *Be* | *Zr* | *Cu* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | µg/l | | | | | | | | | | | |
| Sardara | Eastern border | 1407 | 388 | 229 | 1,17 | 2326 | 34 | 0,6 | 27 | 6,7 | 1746 | 512 | 77 |
| Acquacotta | Western border | 979 | 164 | 52 | 0,61 | 782 | 24 | 0,4 | 34 | 13 | 908 | 322 | 50 |
| Su Concali | Western border | 112 | 43 | 6,1 | 0,17 | 102 | 2,3 | 4,8 | 1,7 | 29 | 401 | 193 | 40 |
| Ped. Montaldo | Western border | 459 | 38 | 12 | 0,07 | 479 | 8,7 | 6,5 | 42 | 6,7 | 738 | 262 | 52 |
| Su Campu | Central-eastern graben | 233 | 38 | 3,5 | < 0,03 | 3431 | 7,5 | 54 | 631 | 0,4 | 17 | 2540 | 287 |

*Tabella 2: Elementi minori e in traccia delle acque termali del Campidano (da Frau, 1993)*

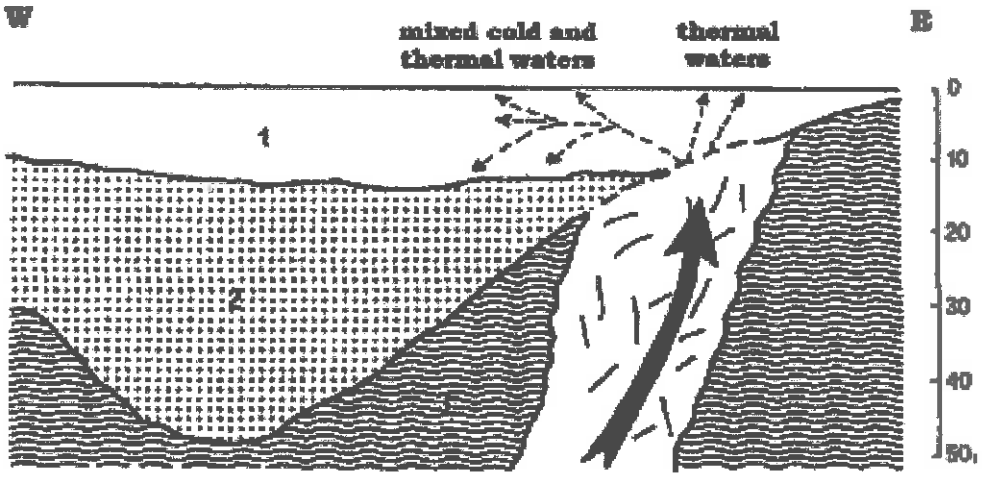


Fig. 1 : Schema della circolazione superficiale. 1 Depositi alluvionali; 2 Sedimenti miocenici alterati (modificato da Balia et al., 1985)

Dall' insieme dei dati geochimica e termometrici, Bertorino *et al.* (1982) hanno ipotizzato che la circolazione dei fluidi termali avvenga a profondità dell' ordine di 1 km nella parte occidentale del Graben del Campidano e che si approfondisca verso est fino a superare i 2 km sui bordi orientali della fossa stessa.

Redattori:

**Giuliano Gabbani**[(1)(2)], **Enrico Pandeli**[(1)(2)], **Sauro Valentini**[(1)], **Alessandro Ronconi**[(1)], **Giampaolo Mariannelli**[(1)]

(1) Gruppo Informale per la Geotermia e l'Ambiente, associazione no profit
via Marconi, 30 - 50100 Firenze

(2) Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Firenze
via La Pira, 4 50100 Firenze

Direzione: **prof. Enrico Pandeli** - *Docente di Geologia, di Geologia Regionale e di Geotermia (DST, Università di Firenze)*

Coordinamento: **prof. Giuliano Gabbani** - *Docente di Esplorazione Geologica del Sottosuolo, di Idrogeologia e di Idrogeologia Applicata (DST, Università di Firenze)*

**Caratteristiche idrologiche e idrogeologiche dell'area del permesso di ricerca**

Dai dati climatici disponibili per il periodo 1961-90, risulta che nell'area in esame le temperature oscillano da massime intorno ai 23°C a minime intorno a 12°C, con una media di 16°C; le precipitazioni medie annue invece variano tra i 600-700 mm.

L'aspetto idrografico e idrogeologico risulta estremamente condizionato dalle strutture geologiche e dalle differenti forme del paesaggio ereditate dagli eventi più recenti. L'unità idrografica principale del Campidano è rappresentata dal Flumini Mannu, uno dei fiumi più importanti dell'isola.

Le acque drenate nelle zone limitrofe alla piana campidanese vengono convogliate prevalentemente verso due diversi collettori: il primo, che drena la maggior parte dei corsi d'acqua che scorrono nell'area, è costituito dal Flumini Mannu di Pabillonis (di cui sono tributari il Flumini Belu e il R. d'Aletzia) che scorre verso NO, per poi sfociare nello Stagno di San Giovanni; il secondo Il Flumini Mannu (di Samassi) che nasce dal Tacco del Sarcidano, attraversa le regioni della Marmilla e della Trextenta, quindi percorre il Campidano verso SE, andando a sfociare nello Stagno di Cagliari. Il corso principale percorre la fossa campidanese in direzione parallela alle sue direttrici strutturali (NO-SE) e, probabilmente, si è impostato in corrispondenza di una serie di faglie longitudinali del graben. I tratti percorsi dagli affluenti e dallo stesso Flumini Mannu sui due horst, sia in destra che in sinistra idrografica, hanno invece direzioni circa NE-SO. Le aree di alimentazione principali di tutto il sistema di affluenti dei due rami del Flumini Mannu sono localizzate nei rilievi montuosi paleozoici e solo subordinatamente in quelli collinari cenozoici.

La morfologia del reticolo idrografico risente delle condizioni climatiche e dei fattori strutturali della regione; il reticolo di tipo sub-parallelo è estremamente sviluppato e presenta localmente ramificazioni dendritiche. I corsi d'acqua sono caratterizzati da un regime stagionale il cui deflusso dipende dalla frequenza e intensità degli eventi piovosi; si ricordano tra i principali Rio Leonaxis, Riu Pau, T. Leni e il Flumini Belu.

Per quanto riguarda le risorse idriche, il Campidano rappresenta il serbatoio sotterraneo più importante della Sardegna e di fatto è sfruttato da un numero notevole di pozzi. L'andamento piezometrico della falda quaternaria del Campidano defluisce per metà verso il Golfo di Oristano a Nord-Ovest, per l'altra metà verso il Golfo di Cagliari a Sud-Est con una pendenza dell'ordine del 0,2%. Lo spartiacque

sotterraneo si colloca all'incirca sulla linea Villacidro-Sanluri, nel baricentro della Pianura.

Nell' area considerata affiorano rocce con caratteristiche idrogeologiche molto diverse. Infatti, in base al grado e al tipo di permeabilità, i litotipi presenti nel bacino possono essere distinti nelle seguenti classi principali:

- rocce generalmente a bassa permeabilità. Comprendono le rocce più o meno metamorfiche del basamento paleozoico ed in particolare. Comprendono ad esempio le Arenarie di San Vito e la Formazione di Solanas (metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati). Anche per queste rocce la permeabilità può aumentare per fratturazione in corrispondenza di aree tettonizzate. Infatti, in corrispondenza dei grossi lineamenti tettonici fragili queste rocce fratturate costituiscono in profondità il serbatoio dei fluidi geotermici.

In questo gruppo a bassa permeabilità possono essere inseriti anche i sedimenti argillosi e marnosi di età terziario-neogenica (es. i litotipi marnosi della Formazione di Samassi del pliocene) e quaternaria che risultano pressoché impermeabili.

- rocce a permeabilità da bassa a media per porosità e fratturazione. Questa classe comprende le lave andesitiche, le ignimbriti riolitico-riodacitiche e tufi dell'Oligo-Miocene. La permeabilità può aumentare con a fessurazione tettonica della roccia.

- rocce a permeabilità media. Questa classe comprende i conglomerati, calcari marnosi, le arenarie e le siltiti plioceniche della Formazione di Samassi (essenzialmente argilloso-marnosa) che localmente possono ospitare qualche limitata falda. La permeabilità di queste rocce può aumentare in coincidenza di locali fenomenologie di tipo carsico che possono impostarsi sui litotipi a componente calcarea e con l'aumentare della fessurazione della roccia.

Inoltre, rientrano in questo gruppo le lave basiche del vulcanismo plio-quaternario. In queste rocce la permeabilità può mostrare talora valori anche piuttosto elevati, in coincidenza di aree intensamente fratturate o per la presenza di livelli scoriacei o di intercalazioni di depositi clastici continentali.

- rocce a permeabilità da media a medio-alta per porosità. Questa classe

comprende i sedimenti clastici quaternari, ovvero i detriti di falda (in genere caratterizzati da permeabilità piuttosto alta), nonché le alluvioni antiche terrazzate e recenti.

- rocce a permeabilità alta per fratturazione e carsismo. Questa classe comprende le rocce calcaree e dolomitiche del Paleozoico e del Mesozoico.

In generale, nel Campidano le risorse idriche sotterranee sono presenti nei terreni alluvionali antichi e recenti (Pliocene superiore-Olocene). Sono presenti in larga parte come acquiferi liberi, ma anche più o meno profondi, sempre a prevalente alimentazione fluviale. Le falde freatiche risultano così localmente interessate da problemi d'inquinamento antropico. Le acque artesiane provenienti dalle falde profonde, tipiche in certi settori del Campidano (piana di Oristano e di Cagliari), sono scarse o assenti nella zona in esame.

Anche altre situazioni idrogeologiche, come le strutture tabulari formate da effusioni basaltiche (le "giare") possono dare luogo a serbatoi idrici. Tra queste, è interessante la Giara di Gesturi, a E di Oristano, un altopiano formato da basalti permeabili per fatturazione e poggiati su sedimenti terrigeni impermeabili. Questa particolare situazione idrogeologica spiega il gran numero di sorgenti sgorganti al limite di permeabilità, ovvero alla base dei tavolati basaltici.

Infine sono molto note le manifestazioni termali sono allineate lungo bordi della fossa campidanese, ovvero lungo i sistemi di faglie bordiere del graben.

Le principali emergenze (Dettori et al., 1982) sono rappresentate dalla sorgente di S.Maria de Is Acquas sul bordo orientale presso Sardara, mentre sul bordo occidentale si trovano le sorgenti di S'Acquacotta (più a sud-est di questo Permesso di Ricerca, a circa 10 Km da Villasor), e di Sa Guardia e Su Concali di S.Maria, a SW di Uta. Manifestazioni, senz'altro di minore importanza, sono presenti anche all'interno del Campidano, come i pozzi della fonderia di S.Gavino ed alcune sorgenti e pozzi presso Decimoputzu. In particolare:

a) La sorgente di S.Maria De Is Acquas, che si manifesta con diverse emergenze localizzate in un'area abbastanza ristretta di circa 5000 mq, ha una temperatura di 54°C (fino a 68°C) ed una portata complessiva stimata in 10 l/s .

b) A S'acquacotta la temperatura è di circa 48°C e la portata circa 6 l/s .

c) Le sorgenti di Sa Guardia e di Su Concali di S.Maria, generalmente captate da pozzi, hanno temperature rispettivamente di 34°C e 23°C, portata dell'ordine di qualche l/s, salinità intorno a 1g/l.

d) Le acque dei pozzi della fonderia di S.Gavino hanno temperature comprese tra 23°C e 29°C, salinità diverse e crescenti con la temperatura (da 0.7 a 2.9 g/l circa) e chimismo a bicarbonati alcalini prevalenti.

e) Le sorgenti presso Decimoputzu hanno gli stessi caratteri chimici delle altre acque termali del Campidano, mentre le acque del pozzo dell'acquedotto della stessa località presenta invece una prevalenza di cloruri alcalini sugli altri sali disciolti.

Tutte queste acque mostrano parametri chimico-fisici sostanzialmente costanti nel tempo (Dettori et al., 1982).

Le sorgenti termali sono strettamente legate alla situazione geotermica del sottosuolo del Graben del Campidano che verrà descritta nel paragrafo successivo.

Le acque termali del Campidano (S.Maria Is Acquas, S'Acquacotta, Su Concali) emergono lungo i bordi del graben con temperature fino a 60°C, una composizione chimica bicarbonato alcalino sodica, pH neutro e salinità fino a 3,3 g/l (1,9 g/l a S'Acquacotta). Tutte queste acque sono caratterizzate dalla presenza di $CO_2$ e $N_2$ in fase gassosa (Minissale *et al.* 1999). E' da sottolineare che la sorgente della $CO_2$ e di $^3He$ risulterebbe più profonda rispetto al circuito delle acque termali (Caboi & Noto, 1982). Le acque del Graben del Campidano mostrano generalmente un basso contenuto di Ca (generalmente <50 mg/l o <2.5 meq/l) e Mg (generalmente < 15 mg/l o < 1.23 meq/l) con importante contenuto in bicarbonato rispetto agli altri anioni (Tabella 1) (Dettori *et al.*, 1982; Frau, 1993). Ne risulta così un chimismo delle acque bicarbonato alcalino (Bertorino *et al.*, 1982). Inoltre, i dati del contenuto in elementi minori ed in traccia (Tabella 2, Frau, 1993) farebbero ipotizzare per le acque termali un contributo di più dell' 80% da parte dei circuiti idrologici profondi (Balia et al., 1985). Sulla base di studi isotopici sul $\delta D$ e $\delta O^{18}$ è stata stabilita un origine meteorica per tutte le acque calde e fredde dell'area del Campidano con una quota di ricarica compresa tra 300 e 600 m s.l.m. (Bertorino et al., 1982; Caboi & Noto, 1982). Le acque, dopo essersi infiltrate nel sottosuolo fino all' interno delle rocce metamorfiche del basamento

paleozoico e aver acquisito le caratteristiche termali, risalgono poi in superficie lungo le faglie bordiere del graben (Fig. 1). Nell'area di Sardara è stata stimata (D'Amore *et al.*, 1987) una temperatura profonda tra 100 e 120°C, tra 90 e 110°C a S'Acquacotta e 100°C a Su Campu (Proto et al., 2001); valori di poco più alti (tra 104°C e 139°C) sono stati invece ottenuti da Bertorino et al.(1982).

Alcuni elementi minori e in tracce sono riportati in Tabella 2. A Sardara, sulla base del contenuto degli elementi minori, la componente profonda delle acque termali delle sorgenti è stata calcolata in circa l'80%; infatti le indagini geoelettriche hanno identificato una risalita verticale di acqua termale lungo una fascia di circa 50 m vicina alle sorgenti più calde (Balia *et al.*, 1999). Le sorgenti che hanno temperature più base derivano dal mescolamento di acque termali e acque fredde (vedi schema della circolazione dei fluidi in fig.1).

| *Samples* | *Location* | *T* °C | *Sal* mg/l | *pH* | *Free gases* | *Aquifer*[1)] | *Na* | *K* | *Ca* | *Mg* | $HCO_3$ | *Cl* | *SO4* | *Si* | *F* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | mg/l | | | | | | | | |
| Sardara | Eastern border | 55 | 3328 | 7,20 | $CO_2+N_2$ | Gr (+Sch) | 870 | 41 | 27 | 6,7 | 1746 | 512 | 77 | 22 | 12,0 |
| Acquacotta | Western border | 45 | 1908 | 6,79 | $CO_2+N_2$ | Gr (+Sch) | 537 | 21 | 34 | 13 | 908 | 322 | 50 | 19 | 7,9 |
| Su Concali | Western border | 24 | 929 | 7,15 | | Gr (+Sch) | 134 | 7,4 | 60 | 29 | 401 | 193 | 40 | 12 | 2,3 |
| Ped. Montaldo | Western border | 22 | 1528 | 7,00 | | Gr (+Sch) | 374 | 15 | 42 | 6,7 | 738 | 262 | 52 | 18 | 5,7 |
| Su Campu | Central-eastern graben | 43 | 4574 | 8,64 | $N_2$ | Gr (+Sch + And) | 1012 | 7,2 | 631 | 0,4 | 17 | 2540 | 287 | 14 | 3,6 |

[1)]Gr = granite rocks; Sch = schistose rocks; And = andesite rocks

Tabella 1: Composizione chimica delle acque termali del Campidano (da Frau, 1993).

| *Samples* | *Location* | *Li* | *Rb* | *Cs* | *Tl* | *B* | *Ge* | *Mo* | *W* | *Ga* | *Be* | *Zr* | *Cu* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | µg/l | | | | | | | | | | | |
| Sardara | Eastern border | 1407 | 388 | 229 | 1,17 | 2326 | 34 | 0,6 | 27 | 6,7 | 1746 | 512 | 77 |
| Acquacotta | Western border | 979 | 164 | 52 | 0,61 | 782 | 24 | 0,4 | 34 | 13 | 908 | 322 | 50 |
| Su Concali | Western border | 112 | 43 | 6,1 | 0,17 | 102 | 2,3 | 4,8 | 1,7 | 29 | 401 | 193 | 40 |
| Ped. Montaldo | Western border | 459 | 88 | 12 | 0,07 | 479 | 8,7 | 6,5 | 42 | 6,7 | 738 | 262 | 52 |
| Su Campu | Central-eastern graben | 233 | 18 | 3,5 | < 0,03 | 3431 | 7,5 | 54 | 631 | 0,4 | 17 | 2540 | 287 |

*Tabella 2: Elementi minori e in traccia delle acque termali del Campidano (da Frau, 1993)*

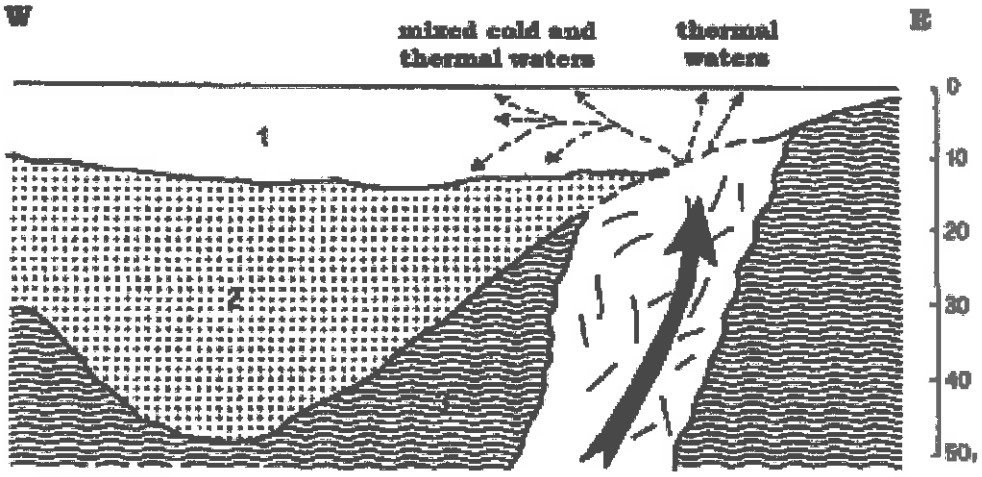


Fig. 1 : Schema della circolazione superficiale. 1 Depositi alluvionali; 2 Sedimenti miocenici alterati (modificato da Balia et al., 1985)

Dall' insieme dei dati geochimica e termometrici, Bertorino *et al.* (1982) hanno ipotizzato che la circolazione dei fluidi termali avvenga a profondità dell' ordine di 1 km nella parte occidentale del Graben del Campidano e che si approfondisca verso est fino a superare i 2 km sui bordi orientali della fossa stessa.