

CAPITOLO 4

CHAPTER 4

5000 ANNI DI GEOTERMIA IN ITALIA: CENNI STORICI

5000 YEARS OF GEOTHERMAL ENERGY IN ITALY: HISTORICAL OUTLINE

DALLA PREISTORIA
ALLA FINE DEL 1800

Il rapporto delle antiche popolazioni italiche con le manifestazioni del calore terrestre risale al Neolitico medio-superiore (4°-3° millennio a.C.), periodo per il quale si hanno prove sulla frequentazione non occasionale delle località termali e sugli usi dei *sottoprodotti*¹ dell'energia geotermica. Una storia, quindi, del rapporto uomo-geotermia, lunga in Italia almeno 5000 anni.

Le forme in cui si sviluppò tale rapporto dalla Preistoria al tempo di Roma furono di tre tipi:

- i) **un rapporto di tipo funzionale**, connesso alla pratica della balneologia termale ed all'uso di molti sottoprodotti del calore terrestre. La balneoterapia, in particolare, aveva assunto forme evolute già nell'Età del Bronzo (2° millennio a.C.), quando cominciò ad essere praticata in strutture organizzate con ambienti termicamente differenziati (Fig. 16). Essa assunse forme raffinate in epoca etrusca, e raggiunse poi l'apice di diffusione nel 3° secolo d.C. durante il periodo di massimo splendore dell'Impero di Roma;
- ii) **un rapporto di tipo religioso** (in senso lato), derivante dal bisogno spirituale dell'uomo di credere nell'esistenza di forze soprannaturali dimoranti nel sottosuolo, capaci di manifestarsi in superficie con fenomeni tranquilli o parossistici a seconda dei luoghi. Tali credenze costituiscono la base su cui cominciarono a formarsi nel tardo Neolitico (3°-2° millennio a.C.) culti e riti di divinità sotterranee, che divennero poi via via più evoluti fino ad assumere nell'Antichità greca e romana forme di venerazione specifica verso divinità protettrici delle acque termali, quali Minerva, Ercole, Esculapio, Igea, Ninfe delle sorgenti, ed altre;
- iii) **un rapporto di tipo razionale**, originato dall'accumulo nei secoli di osservazioni ed esperienze

¹ I *sottoprodotti* dell'energia geotermica sono minerali, fluidi e rocce ignee che si formano nel sottosuolo a causa del calore terrestre, e che possono giungere in superficie a seguito di particolari processi geologici. Essi includono, in particolare, i *minerali idrotermali* derivanti dalla interazione chimico-fisica tra le acque calde circolanti in profondità e le rocce in cui la circolazione avviene.

FROM PREHISTORY TO THE END
OF THE 19TH CENTURY

The relationship of ancient Italic populations with manifestations of the Earth's heat dates back to the middle-to-late Neolithic period (4th-3rd millennium B.C.), whose records testify the frequent visiting of thermal places and the use of geothermal energy *by-products*¹. Therefore, in the Italian history, the relationship between man and geothermal energy has existed for at least 5000 years.

There were three ways in which such a relationship developed from Prehistory to Roman times:

- i) **a functional relationship**, connected to the practice of thermal balneology and to the use of many by-products of the Earth's heat. Balneotherapy, in particular, was fully developed as early as during the Bronze Age (2nd millennium B.C.), when it took place in organized structures with thermally-differentiated spaces (Fig. 16). In the Etruscan period, balneotherapy became more sophisticated and then reached its climax in the 3rd century A.D. during the maximum development of the Roman Empire;
- ii) **a religious relationship** (in the broad sense), deriving from the spiritual need of man to believe in the existence of supernatural forces dwelling in the subsoil and capable of manifesting themselves at the surface through "mild" phenomena in some places or paroxysmal phenomena in other places. In the late Neolithic period (3rd-2nd millennium B.C.), these beliefs gradually evolved into cults and rites of subterranean deities and, in the Greek and Roman Antiquity, into the worship of thermal water deities, such as Minerva, Hercules, Aesculapius, Hygeia, Nymphs of springs and others;
- iii) **a rational relationship**, originating from century-old observations and experiences concerning the

¹ The *by-products* of geothermal energy are minerals, fluids and igneous rocks that are formed in the subsoil due to terrestrial heat and can reach the surface as a consequence of particular geological processes. These by-products include, in particular, *hydrothermal minerals* originating from the chemical-physical interaction between deep hot circulating waters and the rocks in which the circulation takes place.

sul modo in cui si manifestavano in superficie i fenomeni geotermici. Esso diede luogo, dapprima alla formazione di miti e leggende volti a spiegare in termini di causa ed effetto l'esistenza dei fenomeni stessi, e successivamente (a partire dal 5° secolo a.C. in Grecia ed alcuni secoli dopo anche da parte di scrittori latini) alla formulazione delle prime teorie sulla natura e la genesi delle manifestazioni geotermiche e dei fenomeni ad esse associati.

Dopo la caduta dell'Impero di Roma, il termalismo e l'uso dei sottoprodotti dell'energia geotermica subirono in Italia un forte declino per tutta la parte iniziale del Medio Evo (500-1000 d.C.), ma ebbero una certa ripresa nei primi secoli dopo l'anno mille, sia in Toscana che in alcune delle altre aree geotermiche italiane.

A partire poi dal 1400 circa la pratica della balneoterapia in alcune delle principali stazioni termali d'Italia e l'uso in certi luoghi di *minerali idrotermali* ed altri sottoprodotti del calore terrestre cominciarono ad avere una nuova fioritura che, pur non arrivando mai al livello raggiunto al tempo di Roma, acquisirono però localmente una significativa importanza sul piano commerciale e sociale.

La nuova fioritura si verificò in particolare in Toscana dove, a seguito della così detta *Guerra delle Allumiere* tra i Comuni di Firenze e Volterra (terminata nel 1472), la zona oggi nota come *Regione Boracifera* e con essa i *depositi idrotermali*² associati alle manifestazioni geotermiche ivi esistenti, passarono sotto il dominio dei Medici.

Lo sfruttamento dei composti borici e degli altri minerali idrotermali della zona divenne così monopolio della Repubblica di Firenze che ne diede la gestione alla sua *Corporazione della Lana*. Questa poté da allora essere esentata dai dazi di importazione dei prodotti borici e di altri minerali idrotermali indispensabili per l'industria tessile.

Lo sfruttamento intensivo delle manifestazioni, però, effettuato per oltre due secoli, se da una parte

way in which geothermal phenomena manifested themselves at the surface. At first, such observations produced myths and legends that attempted to explain these phenomena in terms of cause and effect; afterwards (starting from the 5th century B.C., as reported by Greek writers and, some centuries later, also by Latin writers), the same observations resulted into the formulation of the first theories on the nature and genesis of geothermal manifestations and associated phenomena.

After the fall of the Roman Empire and until the first part of the Middle Ages (500-1000 A.D.), thermal water therapy and the use of geothermal by-products radically declined in Italy. However, they were partially resumed in the first centuries after the year 1000, both in Tuscany and in other Italian geothermal areas.

Starting from around the year 1400, balneotherapy in some of the main Italian thermal spas and the use in some places of *hydrothermal minerals* and other by-products of terrestrial heat began to blossom again; although these uses never reached the level achieved in Roman times, they became commercially and socially significant at local level.

The blossoming occurred particularly in Tuscany. Here, a war for the possession of the geothermal manifestations of Larderello (the so-called *Guerra delle Allumiere*) occurred between the municipalities of Florence and Volterra. As a result of the war (which ended in 1472), the area now known as the *Boraciferous Region* with its *hydrothermal deposits*², passed under the dominion of the Medici family.

The exploitation of boric compounds and other hydrothermal minerals in the area then became the monopoly of the Republic of Florence, which assigned it to its *Wool Guild*. The latter was thus exempted from import duties on boric products and other hydrothermal minerals indispensable for the textile industry.

Intensive exploitation of the geothermal manifestations for over two centuries allowed the Flo-

² I *depositi* ed i *prodotti idrotermali* associati a molte delle manifestazioni in parola, nonché le manifestazioni stesse, erano noti a quel tempo (e sono chiamati così anche oggi in gergo popolare) con nomi generici che li caratterizzavano per aspetti specifici propri, quali: *soffioni*, *fumacchi*, *allumiere*, *lumaie*, *biancane*, *lagonicci*, *lagoni* ed altri. I *lagoni*, in particolare, ora scomparsi, erano dei piccoli crateri naturali nei quali si raccoglieva acqua fangosa, mantenuta in stato di energica ebollizione da gorgogliamenti di gas e getti di acqua bollente e vapore ricchi di boro, che sfuggivano dal fondo dei crateri stessi. Di *lagoni* era ricca una vasta area (l'odierna Larderello e zone circostanti) a sud di Volterra.

² The *hydrothermal deposits* and *products* associated with many of the geothermal manifestations, as well as the manifestations themselves, were known at that time (and are called even today in popular jargon) with generic names identifying some of their specific aspects, such as: *soffioni*, *fumacchi*, *allumiere*, *lumaie*, *biancane*, *lagonicci*, *lagoni* and others. The now extinct *lagoni*, in particular, were little natural craters in which muddy water collected and was kept in a state of intense boiling by bubbling gas, jets of boiling water and steam rich in boron that escaped from the bottom of the craters themselves. The *lagoni* were scattered over a vast area south of Volterra (today Larderello and surrounding areas).

consentì all'industria tessile fiorentina di raggiungere una posizione di primo piano in Europa, diede luogo d'altra parte ad un forte depauperamento delle mineralizzazioni affioranti, per cui dalla seconda metà del 1700 il loro uso subì un accentuato declino che si protrasse per quasi un secolo.

Successivamente, a partire dal 1820 circa, lo sfruttamento dei prodotti idrotermali della Regione Boracifera andò incontro ad un nuovo forte sviluppo, dovuto soprattutto all'impulso dato a questa attività da Francesco Larderel e dai suoi discendenti, fino alla prima metà del 20° secolo.

L'INDUSTRIA CHIMICA DI LARDERELLO DALLA FINE DEL 18° SECOLO AL 1950

La cronistoria dello sviluppo dell'industria boricata nella zona di Larderello e della relativa tecnologia possono essere così riassunte.

- **1777-'79.** Scoperta dell'acido borico nelle manifestazioni di Monterondo Marittimo e di Castelnuovo Val di Cecina (entrambe a sud di Volterra) da parte di Uberto Francesco Hoefer prima e (con una tecnica diversa) da Paolo Mascagni poi. Si trattò di una scoperta fondamentale per lo sviluppo dell'industria chimica di Larderello poiché l'acido borico (noto allora come *sale sedativo di Homberg*) veniva largamente usato in farmacia per la cura, soprattutto, di malattie degli occhi. Ma poiché la materia prima da cui esso veniva allora estratto era costituita da una miscela di borati (il così detto *tincal*) importata via terra dalla Persia, dall'India e dalla Cina, è facile immaginare quanto l'acido borico ottenuto dai prodotti idrotermali della Regione Boracifera potesse incidere sull'abbattimento dei costi di mercato.
- **1812.** Costituzione della prima società di produzione di acido borico dai *lagoni* di Larderello.
- **1815-'16.** Costituzione della seconda società di produzione di acido borico. Il calore di processo delle salamoie boriche estratte dai *lagoni* era ottenuto bruciando legna di bosco. L'iniziativa ebbe uno strepitoso successo: basti pensare che in soli 10 mesi furono prodotte e vendute sul mercato francese ad un prezzo molto conveniente ben 36 tonnellate di acido borico. Ciò spiega il grande interesse suscitato in Francia dall'acido borico prodotto in Toscana.
- **1818.** Creazione della terza società di produzione di acido borico (la Chemin-Prat-La Motte-Larderel) da parte di quattro soci francesi esuli a Livorno, alla cui direzione tecnica fu nominato il socio Francesco Larderel. Questi introdusse una prima

rentine textile industry to become a leader in Europe, but strongly depleted the outcropping mineralizations. Consequently, from the second half of the 18th century and for almost one century, their use sharply declined.

Subsequently, from around 1820 until the end of the 19th century, the exploitation of hydrothermal products from the Boraciferous Region had a new strong development thanks to the impetus given to the boric industry by Francesco Larderel and his descendants until the first half of the 20th century.

THE LARDERELLO CHEMICAL INDUSTRY FROM THE LATE 18TH CENTURY TO 1950

The history of the development of the boric industry in the area of Larderello and of the relative technology can be summarized as follows.

- **1777-1779.** Discovery of boric acid in the geothermal manifestations of Monterondo Marittimo and Castelnuovo Val di Cecina (both south of Volterra), first by Uberto Francesco Hoefer and then by Paolo Mascagni (using a different technique). This was a fundamental discovery for the development of the chemical industry of Larderello, since boric acid (known then as *Homberg sedative salt*) was largely used in pharmacy especially for the treatment of eye diseases. Indeed, as the raw material from which boric acid was extracted at those times consisted of a mixture of borates (the so-called *tincal*) imported through land routes from Persia, India and China, the availability of boric acid produced from the hydrothermal deposits of Tuscany sharply reduced its market costs in Italy.
- **1812.** Establishment of the first company for the production of boric acid from the *lagoni* of Larderello.
- **1815-1816.** Establishment of the second company for the production of boric acid. The heat for the extraction process of boric brines from the *lagoni* was obtained by burning forest wood. The initiative had a resounding success: just think that, in only 10 months, as many as 36 tonnes of boric acid were produced and sold in the French market at a very advantageous price. This explains the great interest aroused in France by boric acid produced in Tuscany.
- **1818.** Creation of the third company for the production of boric acid (Chemin-Prat-La Motte-Larderel) by four French partners in exile in Leghorn; these partners included Francesco Larderel who was appointed technical manager

importante innovazione tecnologica basata sullo sfruttamento delle acque boriche dei *lagoni naturali* e di quelle raccolte in *lagoni artificiali*, da lui fatti scavare in corrispondenza di aree ricche di incrostazioni idrotermali secche. Il calore di processo era però ancora ottenuto con legna da ardere. Furono così prodotte e vendute sul mercato europeo 50 tonnellate all'anno di acido borico per quasi 10 anni.

L'intensivo taglio della legna, tuttavia, causò l'impoverimento dei boschi in una vasta area della Regione Boracifera, portando la società al rischio di fallimento per la temuta impossibilità di rispettare i contratti già firmati di fornitura del minerale. La società fu quindi sciolta nel 1827, ma Francesco Larderel non volle abbandonare l'impresa, ne rilevò l'intero pacchetto azionario e cominciò ad operare da solo.

- **1827.** Seconda ed ancora più importante innovazione tecnologica: il così detto *lagone coperto*. Si trattava di una struttura in mattoni a forma emisferica, costruita al di sopra di molti dei *lagoni* in sfruttamento (Fig. 17). La struttura serviva per separare il vapore dall'acqua, la quale subiva così un primo processo di concentrazione del contenuto salino. Il vapore, formatosi nella parte medio-alta della cupola ad una temperatura di circa 100°C, serviva invece per l'evaporazione e l'essiccamento delle salamoie boriche, sostituendo così la legna da ardere.
- **1828-'29.** Terza importante innovazione tecnologica: i *lagoni a cascata*. I *lagoni* ubicati lungo la stessa fascia di pendio venivano collegati tra loro con canalette di scorrimento per gravità delle acque boriche, che subivano così un primo processo di evaporazione e concentrazione salina (Fig. 18). L'acqua traboccante dal *lagone* a quota più bassa veniva canalizzata verso vasche di decantazione e successivamente verso altre vasche di essiccamento alimentate (queste ultime) da vapore spillato dalla parte medio-alta del più vicino *lagone coperto*.
- **1832-'34.** Per aumentare la produzione di acque boriche, furono perforati pozzi nelle immediate vicinanze dei *lagoni* naturali. La perforazione veniva fatta a mano fino a profondità di 6-8 m.
- **1840-'45.** Quarta importante innovazione tecnologica: la *caldaia adriana* (Figg. 19 e 20). Si trattava di una serie di canalette contigue in mattoni, rivestite internamente da lastre di piombo, nelle quali le salamoie boriche venivano fatte circolare in controcorrente rispetto al vapore immesso sotto il pavimento delle canalette stesse.
- **1829-'50.** Rapido aumento della produzione di acido borico: dalle 125 tonnellate/anno del 1829 alle oltre 1000 tonnellate/anno del 1850.

of the company. He introduced a first important technological innovation based on the exploitation of boric waters of the *natural lagoni* and of those collected in the *artificial lagoni*, which were dug in areas rich in dry hydrothermal incrustations. However, the process heat was still obtained with firewood. In this way, 50 tonnes of boric acid were produced annually and sold in the European market for almost 10 years.

The intensive cutting of wood, however, caused the depletion of woods in a vast area of the Boraciferous Region, exposing the company to default for not being able to honor the already signed contracts for the supply of the mineral. Therefore, in 1827, the company was wound up, but Francesco Larderel did not want to abandon the activity; so he bought out the entire block of shares and began operating on his own.

- **1827.** Second and even more important technological innovation: the so-called *lagone coperto* (*covered lagone*). This consisted of a brick structure with a hemispherical shape built above many *lagoni* in use (Fig. 17). The purpose of the structure was to separate steam from water, which underwent a first process of concentration of its saline content. The steam that formed in the intermediate-upper part of the dome at a temperature of about 100 °C was used for evaporation and drying of the brines, substituting firewood.
- **1828-1829.** Third important technological innovation: the *lagoni in cascade*. The *lagoni* situated along the same belt of the slope were connected with each other by small open ducts where the boric waters flowed by gravity, undergoing a preliminary process of evaporation and saline concentration (Fig. 18). The water overflowing from the *lagone* at lower elevation was conveyed to settling tanks and subsequently to drying tanks; the latter were heated by steam extracted through a pipe from the intermediate-upper part of the closest covered *lagone*.
- **1832-1834.** To increase the production of boric waters, wells were manually dug in the immediate vicinity of the natural *lagoni* down to a depth of 6-8 m.
- **1840-1845.** Fourth important technological innovation: the *Adrian boiler* (Figs. 19 and 20) This consisted of a series of brick ducts, lined with lead sheets, where the boric brines were circulated in countercurrent flow with respect to the steam flow injected into the interspace under the floor of the brick ducts.
- **1829-1850.** Rapid increase of the production of boric acid: from 125 tonnes/year in 1829 to over 1000 tonnes/year in 1850.

- **1842-1900.** Notevole incremento della produzione di miscele boriche acqua-vapore ottenute con pozzi perforati a profondità via via crescenti, dai 25-30 m del 1842 ai 250-300 m del 1900.
- **1900-'44.** Diversificazione della produzione chimica. Oltre all'acido borico, vennero prodotti in quel periodo nuovi composti chimici, come il perborato di sodio, il carbonato di ammonio, l'acido carbonico, il talco in polvere ed altri, tutti di largo uso nell'industria farmaceutica.
- **1925-'60.** Progressivo ed accentuato decremento dei tenori di acido borico nei fluidi prodotti dai pozzi, per cui la loro produzione e quella degli altri composti chimici sopra ricordati divenne via via meno remunerativa. Pertanto, i gruppi geotermoelettrici, che dal 1913 consentivano di produrre con *cicli indiretti* al tempo stesso elettricità, acido borico ed altri composti chimici (vedi nota 3), dovettero essere gradualmente sostituiti, come si dirà più avanti, con gruppi a *ciclo diretto*.

NASCITA E SVILUPPO INIZIALE DELL'INDUSTRIA GEOTERMoeLETTICA (1903-1943)

Il Principe Dr. Piero Ginori Conti, nominato nel 1903 Direttore Generale della Società Larderello alcuni anni dopo le sue nozze con una figlia del Conte Florestano De Larderel (nipote del Conte Francesco), avviò un programma di innovazione tecnologica volto ad ammodernare i processi produttivi dell'industria chimica di famiglia e ad ampliarne gli interessi verso altri settori della geotermia.

Le attività del programma riguardanti la possibilità di produrre energia elettrica da fonte geotermica si svilupparono secondo le tappe seguenti.

- **1903.** Inizio di ricerche e prove di laboratorio per studiare la fattibilità di utilizzare il fluido dei pozzi per produrre al tempo stesso acido borico ed energia elettrica.
- **Primi mesi del 1904.** Organizzazione e messa in funzione del primo laboratorio geochimico mobile per campionare e fare le prime analisi chimiche speditive di fluidi, gas ed incrostazioni minerali (Fig. 21).
- **4 luglio 1904.** Primo esperimento di produzione elettrica con fluidi geotermici (Fig. 22). Fu usato a questo scopo vapore puro ottenuto mediante *scambiatore di calore*³ alimentato da un pozzo

³ Lo *scambiatore di calore* è una apparecchiatura che consente di realizzare lo scambio di calore tra due fluidi separati da una parete buona conduttrice di calore, che impedisce ai due fluidi di venire a contatto tra di loro. Nel caso in esame, il

- **1842-1900.** Significant increase in the production of water-steam boric mixtures obtained from wells drilled to slowly increasing depths, from 25-30 m in 1842 to 250-300 m in 1900.
- **1900-1944.** Diversification of chemical production. Besides boric acid, new chemical compounds were produced, such as sodium perborate, ammonium carbonate, carbonic acid, talcum powder and others, all commonly used in the pharmaceutical industry.
- **1925-1960.** Progressive and marked decrease of the levels of boric acid in the fluids produced by the wells; consequently, the production of boric acid and of the other chemical compounds mentioned above became gradually less profitable. Therefore, the *indirect-cycle* geothermal generating units (see note 3) that had made it possible to produce electricity, boric acid and other chemical compounds at the same time since 1913, were stepwise replaced (as explained later) by *direct-cycle* units.

THE BIRTH AND INITIAL DEVELOPMENT OF THE GEOTHERMAL POWER INDUSTRY (1903-1943)

Prince Piero Ginori Conti was appointed General Manager of the Larderello Company in 1903, a few years after marrying the daughter of Count Florestano De Larderel (grandson of Count Francesco). The Prince initiated an innovative technological program to modernize the production processes of the family's chemical industry and to extend activities to other sectors of geothermal energy.

The implementation of the program to generate electricity from geothermal sources consisted of the following stages.

- **1903.** Beginning of research and laboratory tests to study the feasibility of using the fluid from the wells to produce boric acid and electrical energy simultaneously.
- **First months of 1904.** Organization and putting into service of the first mobile geochemical laboratory for sampling and fast chemical analysis of fluids, gases and mineral deposits (Fig. 21).
- **July 4, 1904.** First experiment of production of electricity from geothermal fluids (Fig. 22). Use was made of an indirect-cycle pure-steam process; the steam was obtained in a *heat exchanger*³ sup-

³ A *heat exchanger* is a device that allows for the exchange of heat between two fluids separated by a good heat-conducting wall, which prevents the two fluids from coming into contact with each other. In the case under review, geother-

ubicato nei pressi di Larderello, secondo il ciclo indiretto. Venne azionato così un motore a pistoni accoppiato ad una dinamo da 10 kW, alla quale erano state collegate cinque lampadine di pochi watt ciascuna.

- **1905.** Installazione di un motore geotermico prototipo a pistoni della ditta Cail, azionato da vapore puro (anch'esso ottenuto con scambiatore di calore secondo il ciclo indiretto) e collegato ad una dinamo da 20 kW. Furono illuminati così per circa 10 anni il palazzo del Principe ed altre residenze di Larderello.
- **1908.** Installazione di un motore geotermico della ditta Neville, anche questo a pistoni, azionato da vapore puro secondo il ciclo indiretto ed accoppiato ad una dinamo da 20 kW. Vennero con esso elettrificati alcuni impianti di produzione chimica di Larderello e delle zone vicine.
- **1913.** Entrata in esercizio della prima centrale geotermica del mondo, detta Larderello 1 (Fig. 23). La centrale era costituita da un gruppo turboalternatore da 250 kW costruito dalla Società Franco Tosi, alimentato ancora da vapore puro (ciclo indiretto). Furono elettrificati con esso, prima tutti gli impianti chimici ed alcuni dei centri abitati della Regione Boracifera, e successivamente, tra il 1914 ed il 1916, gli abitati di Pomarance, Saline di Volterra e Volterra. Questo gruppo fu poi smantellato nel 1916 per essere sostituito nello stesso anno con due gruppi molto più grandi.
- **1914-1916.** Costruzione della prima linea elettrica al mondo alimentata da energia geotermica. Si trattava di una linea lunga circa 25 km che collegava Pomarance, Saline di Volterra e Volterra alla suddetta centrale Larderello 1.
- **1916.** Installazione in questa centrale di due gruppi turboalternatori della Società Franco Tosi, ciascuno (turbina più alternatore) da 3,5 MW ancora a ciclo indiretto. Va ricordato che la potenza di questi gruppi era per quei tempi davvero grande, perché paragonabile a quella delle maggiori unità idroelettriche e termiche usate all'epoca per la generazione commerciale di energia elettrica.
- **1923.** Installazione a Serrazzano (a sud-ovest di Larderello) di un gruppo geotermoelettrico sperimentale a ciclo diretto da 23 kW, che servì per

plied by a well located near Larderello. The steam drove a piston engine coupled to a 10 kW dynamo, to which five low-wattage light bulbs were connected.

- **1905.** Installation of a prototype geothermal engine with pistons made by the Cail Company; the engine was driven by pure steam (also obtained in a heat exchanger) and connected to a 20 kW dynamo (indirect cycle). Geothermal power was thus used for lighting the palace of the Prince and other houses in Larderello for approximately one decade.
- **1908.** Installation of a geothermal engine made by the Neville Company, also with pistons and driven by pure steam, and coupled to a 20 kW dynamo (indirect cycle). Geothermal power was thus used to operate some chemical production plants in Larderello and nearby areas.
- **1913.** Year of entry into operation of the first geothermal power plant in the world, called Larderello 1 (Fig. 23). The power plant consisted of a turbine generating unit of 250 kW manufactured by the Franco Tosi Company and still fed by pure steam (indirect cycle). The power plant supplied electricity to all the chemical plants and some residential areas of the Boraciferous Region and then, in 1914-1916, to the residential areas of Pomarance, Saline di Volterra and Volterra. This generating unit was then dismantled in 1916 and replaced in the same year by two much larger units.
- **1914-1916.** Construction of the first electrical line in the world supplied by geothermal power. It was an about 25 km-long line that connected Pomarance, Saline di Volterra and Volterra to the aforementioned power plant Larderello 1.
- **1916.** Installation in this plant of two turbine generating units, each (turbine plus alternator) of 3.5 MW, still operating according to the indirect cycle and made by the Franco Tosi Company. The capacity of these units was very high, as it was comparable to the ones of the largest hydro and thermal generating units used at the time for commercial generation of electrical energy.
- **1923.** Installation at Serrazzano (southwest of Larderello) of an experimental 23 kW direct-cycle geothermal generating unit used to test the

vapore geotermico, impuro perchè contenente diverse sostanze chimiche incrostanti e/o aggressive sui metalli, poteva riscaldare acqua dolce e farla vaporizzare.

Il vapore puro così ottenuto poteva alimentare un motore a pistoni secondo il processo termodinamico detto *ciclo indiretto*. In anni seguenti, con il progresso della tecnologia dei materiali, le turbine delle centrali geotermoelettriche furono azionate direttamente con vapore naturale prodotto dai pozzi secondo il processo termodinamico chiamato *ciclo diretto*.

mal steam (impure because it contained various chemical substances which were incrustating and/or aggressive on metals), heated fresh water and made it evaporate.

The pure steam so obtained supplied a piston engine according to the thermodynamic process known as *indirect cycle*. In following years, with advances in materials technology, the turbines of geothermal power plants were directly driven by natural steam coming from wells according to the thermodynamic process called *direct cycle*.

verificare il comportamento di gruppi alimentati direttamente da vapore naturale. Esso rimase in funzione senza problemi per circa due anni; dopo di che venne smontato ed installato nella scuola aziendale di Larderello dove fu usato per le esercitazioni nella formazione del personale tecnico della Società Larderello (Fig. 24).

- **1926-'27.** Installazione a Castelnuovo Val di Cecina di due gruppi, uno da 600 e l'altro da 800 kW, entrambi a ciclo diretto.
- **1930.** Installazione nella centrale Larderello 1 di un gruppo da 3,5 MW a ciclo diretto.

A Dicembre 1930, pertanto, la potenza geotermoelettrica totale installata nella Regione Boracifera era di 11,9 MW, dei quali 7 a ciclo indiretto e 4,9 a ciclo diretto con scarico libero nell'atmosfera.

Negli anni successivi, la potenza installata crebbe ad un ritmo molto serrato, come segue.

- **1935-'39.** Entrata in esercizio della prima grande centrale geotermoelettrica (Larderello 2), costituita da ben sei gruppi da 10 MW ciascuno, tutti a ciclo indiretto. Ciò perché, nonostante la diminuzione dei tenori di acido borico nel fluido dei pozzi, la produzione di questo e degli altri composti chimici menzionati nel paragrafo precedente, risultava ancora ben remunerativa.
- **1940-'43.** Entrata in esercizio di 4 gruppi da 10 MW ciascuno a ciclo indiretto a Castelnuovo Val di Cecina (del tutto simili ai sei della centrale Larderello 2), nonché di due gruppi a ciclo diretto (3,5 e 5 MW) a Serrazzano e di un gruppo a ciclo diretto da 3,5 MW a Sasso Pisano (a sud di Larderello).

Pertanto, la potenza geotermoelettrica totale installata nella zona di Larderello alla fine del 1943 risultava di 123,9 MW di cui 107 a ciclo indiretto e 16,9 MW a ciclo diretto (con scarico libero).

Lo sviluppo nel tempo delle centrali e l'energia elettrica da esse prodotta annualmente fino al 1943 sono illustrate nel grafico di Fig. 25.

Tutte le centrali e gli impianti di produzione chimica della Regione Boracifera vennero distrutti a seguito degli eventi bellici che colpirono la zona nella primavera-estate del 1944. Rimase miracolosamente illeso tra le macerie soltanto il gruppo pilota a scarico libero da 23 kW già installato a Serrazzano e poi usato a partire dal 1925 per le esercitazioni degli studenti nella scuola tecnica della Società Larderello (Fig. 24).

Con la poca energia elettrica prodotta da quel gruppo, e con l'impegno e la grande determina-

feasibility of developing generating units directly fed by natural steam. The unit remained in operation without problems for almost two years, after which it was removed and installed in the school of the Larderello Company, where it was used for training technical personnel (Fig. 24).

- **1926-1927.** Installation at Castelnuovo Val di Cecina of two direct-cycle units, one of 600 and the other of 800 kW.
- **1930.** Installation of a direct-cycle unit of 3.5 MW in the Larderello 1 power plant.

Therefore, in December 1930, the total geothermal capacity installed in the Boraciferous Region was 11.9 MW (7 MW from indirect-cycle units and 4.9 MW from direct-cycle units with atmospheric exhaust).

In the following years, the installed capacity grew at a fast pace, as indicated below.

- **1935-1939.** Entry into operation of the first large geothermal power plant (Larderello 2). The plant consisted of six indirect-cycle units of 10 MW each. Indeed, despite the decline of the boric acid content of the fluid produced by the wells, the production of boric acid and of the other chemical compounds mentioned earlier was still very profitable.
- **1940-1943.** Entry into operation of: 4 indirect-cycle units of 10 MW each at Castelnuovo Val di Cecina (similar to the ones of the Larderello 2 plant); 2 direct-cycle units (3.5 and 5 MW) at Serrazzano; and 1 direct-cycle 3.5 MW unit at Sasso Pisano (south of Larderello).

Thus, the total geothermal capacity installed in the area of Larderello at the end of 1943 totaled 123.9 MW (107 MW from indirect-cycle units and 16.9 MW from atmospheric-exhaust direct-cycle units).

The development of geothermal power plants and their electricity generation until 1943 are shown in Fig. 25.

All of the power plants and of the chemical plants in the Boraciferous Region were destroyed during the war, in the spring-summer of 1944. Miraculously, only the 23 kW atmospheric-exhaust pilot generating unit remained intact under the rubble; this unit was the one that had been installed at Serrazzano and used since 1925 for instructing students in the technical school of the Larderello Company (Fig. 24).

Thanks to the electricity produced by the above unit and to the efforts of the local population, the

zione delle genti del luogo ebbe inizio nell'autunno 1944 la seconda ed attuale fase di sviluppo dell'industria geotermoelettrica italiana. ■

second and present stage of development of the Italian geothermal power industry began in the fall of 1944. ■

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

La letteratura sulla ricerca, l'esplorazione, lo sviluppo, la tecnologia e le applicazioni delle risorse geotermiche italiane è vastissima, in particolare quella tecnica relativa alla zona di Larderello.

Non altrettanto si può dire per la letteratura riguardante la storia della scienza e della tecnologia nel settore geotermico la quale (a parte qualche sporadico se pur notevole esempio risalente alla prima metà del secolo scorso) ha cominciato ad affermarsi solo negli ultimi decenni. Essa rimane tuttavia ancora a livello ridotto poiché non supera oggi, nell'insieme, un centinaio di articoli ed una decina di libri.

Per facilitare i lettori che volessero saperne di più su questo argomento sono stati selezionati i seguenti lavori di interesse generale, la maggior parte dei quali molto recenti.

The literature on research, exploration, development, technology and use of Italian geothermal resources is very vast, especially the technical literature on the area of Larderello.

The same cannot be said for the literature regarding the history of science and technology in the geothermal sector which (besides some sporadic yet outstanding examples dating back to the first half of the past century) started to come out in only the last decades. However, this literature is still poor, as it only consists of about one hundred articles and a few tens of books.

In order to help readers who would like to know more on this subject, the following works of general interest have been selected, most of which are very recent.

- Abbri F., 2005. *Giovanni Targioni Tozzetti: la storia naturale e la geotermia*, pp. 195-208. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Bassani A., 2005. *I Colli Euganei ed il loro termalismo*, pp. 167-182. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI+344.
- Bianchi M.C., 2005. *Francesco De Larderel, uomo ed imprenditore*, pp. 209-224. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Bocci T. e Mazzinghi P., 1994. *I soffioni boraciferi di Larderello*. La Magione, Poggibonsi (Siena), pp. 140.
- Burgassi P.D., 2005. *Tecnologie e sviluppo della geotermia nella Regione Boracifera*, pp. 195-208. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Cataldi R., 2005. *L'uomo e la geotermia nell'anno zero*, pp. 2-9. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Cataldi R., 2005. *La geotermia nelle antiche civiltà mediterranee*, pp. 27-41. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Cataldi R., 2005. *Applicazioni della geotermia in Italia dal VI al XV secolo*, pp. 116-125. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Cataldi R. e Burgassi P.D., 2005. *Le ricerche scientifiche a Larderello dal XVI secolo al 1928*, pp. 316-330. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Cataldi R. e Chiellini P., 1999. *Geothermal Energy in the Mediterranean before the Middle Ages, A Review*, pp. 165-182. In: Cataldi R., Hodgson S.F. and Lund J.W. (a cura di/edited by), "Stories from a Heated Earth", Special Report no. 19, GRC-IGA, Davis, California, pp. XVIII + 569.
- Cerruti L., 2005. *Scienza, industria, estetica. Raffaello Nasini ed i soffioni boraciferi*, pp. 276-292. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Ciardi M., 2005. *Da Florestano De Larderel a Piero Ginori Conti: Ferdinando Raynaut ed il primo esperimento di produzione di energia geotermoelettrica*, pp. 247-274. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Di Pasquale G., 2005. *Risorse geotermiche in Etruria*, pp. 42-52. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), "Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia", ETS, Pisa, pp. XVI + 344.

- Di Pasquale G., 2005. *Il caso dei Campi Flegrei: Rappresentazione della Terra nell'Antichità*, pp. 53-73. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Franceschi F., 2005. *Vicende della Regione Boracifera volterrana nel Basso Medio Evo*, pp. 143-153. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Fytikas M., Margomenou Leonidopoulou G. and Cataldi R., 1999. *Geothermal Energy in Ancient Greece: From Mythology to Late Antiquity (3rd Century A. D.)*, pp. 69-101. In: Cataldi R., Hodgson S.F. and Lund J.W. (a cura di/edited by), *"Stories from a Heated Earth"*, Special Report no. 19, GRC-IGA, Davis, California, pp. XVIII + 569.
- Giacomelli L. e Scandone R., 1992. *Campi Flegrei-Campania Felix*. Liguori, Napoli, pp. 121.
- Grifoni Cremonesi R., 2005. *Il rapporto dell'uomo con le manifestazioni geotermiche in Italia dalla Preistoria all'Alto Medioevo*, pp. 10-26. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Lungonelli M. e Migliorini M., 2003. *Piero Ginori Conti. Scienza, cultura e innovazione industriale nella Toscana del Novecento*. Laterza, Roma-Bari, pp. 113.
- Mazzoni A., 1951. *I soffioni boraciferi toscani e gli impianti di Larderello*. Seconda edizione aggiornata ed ampliata. Editrice Anonima Arti Grafiche, Bologna, pp. 161.
- Nasini R., 1930. *I soffioni e i lagoni della Toscana e la industria boracifera, Storia, studi, ricerche chimiche e chimico-fisiche eseguite principalmente nell'ultimo ventennio*. Tipografia Editrice Italia, Roma, pp. 658.
- Nicolini N., 2005. *L'empirismo organizzato: La chimica a Larderello nell'Ottocento*, pp. 225-246. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Papini P., 2005. *Larderello: Il villaggio e la comunità*, pp. 293-305. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Redi F., 2005. *L'eredità medievale del termalismo romano: Cristiani e Islamici tra ritualità dell'acqua e cura del corpo*, pp. 82-97. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Rossi A. e Manetti P., 2005. *La geologia e la geotermia di Bernardino Lotti al passaggio tra il XIX ed il XX secolo*, pp. 306-315. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Vaccari E., 2005. *Per una storia della geotermia in età moderna*, pp. 156-166. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.
- Zuccolin G., 2005. *Ruolo ed evoluzione della balneoterapia nel pensiero scientifico-medico in Italia dal XII al XVI Secolo*, pp. 98-115. In: Ciardi M. e Cataldi R. (a cura di/edited by), *"Il Calore della Terra. Contributo alla Storia della Geotermia in Italia"*, ETS, Pisa, pp. XVI + 344.





Fig. 16 - La più antica struttura termale nota in Italia: tholos (edificio a cupola) con funzione di sudatorio e contigua piscina termale all'aperto a San Calogero, Lipari, isole Eolie (circa 1600 a.C.).
The oldest known thermal spa in Italy: tholos (dome-shaped steam bath building) and nearby outdoor thermal pool at San Calogero, Lipari, about 1600 B.C. (Aeolian islands, Sicily).

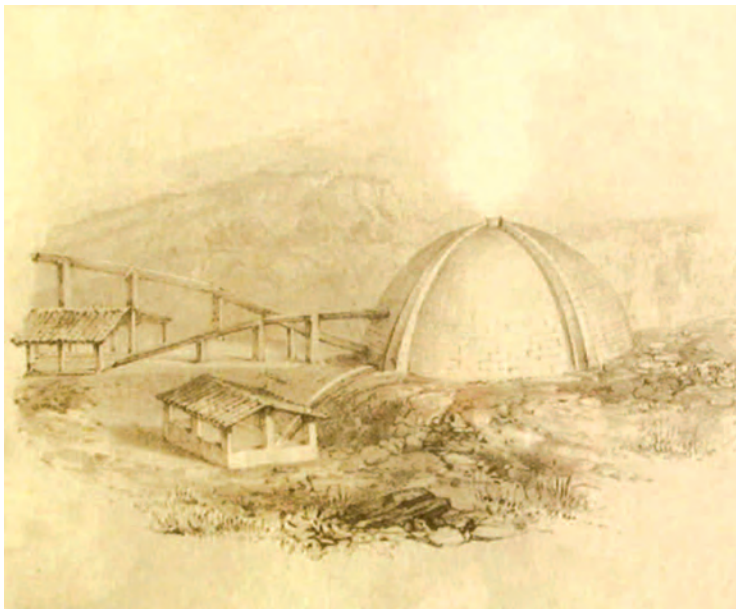


Fig. 17 - Larderello, Toscana. Prospetto di *lagone* coperto per raccogliere il vapore delle manifestazioni naturali (incisione del 1850).

Nella parte sinistra della struttura si vedono tre tubazioni: la prima di adduzione della salamoia borica primaria verso il settore inferiore della cupola; la seconda per spillare il vapore separato dalla parte intermedia della cupola, e la terza (in basso) per convogliare verso vasche di essiccamento la salamoia borica concentrata formatasi alla base della struttura. *Larderello, Tuscany. Covered (vaulted-roof) "lagone" system for collecting steam from surface manifestations (an engraving of 1850). Top left: pipe conveying boric brine (to the lower part of the system). Middle: pipe extracting steam that has been separated in the intermediate part of the system. Bottom: pipe conveying the concentrated boric brine to vaporization tanks.*



Fig. 18 - Larderello, Toscana. *Lagoni* naturali in cascata (A-B-C-D), con vasche di raccolta a valle (E-F) e vasche di evaporazione a gradinata in basso (G). Incisione del 1841. *Larderello, Tuscany (an engraving of 1841). Natural "lagoni" in cascade (A-B-C-D) with downstream collecting tanks (E-F), and vaporization tanks with steps at the bottom (G).*

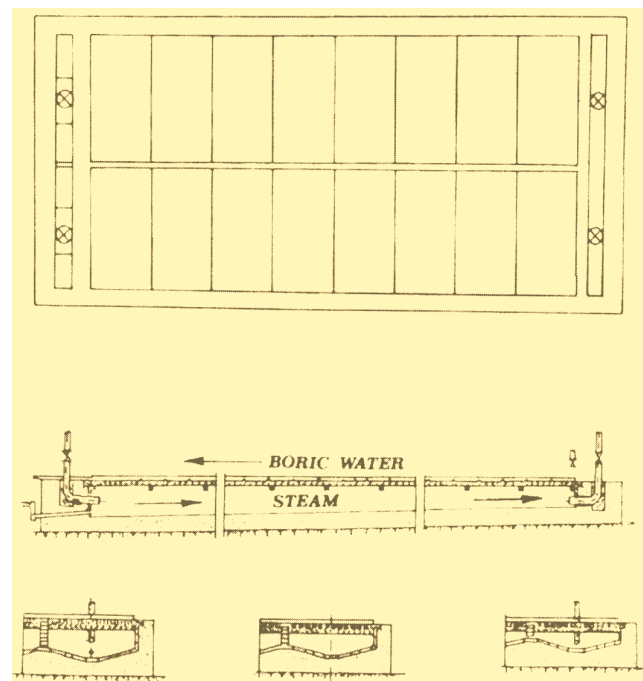


Fig. 19 - Larderello, Toscana. Schema della "caldaia adriana". Pianta (in alto), sezione longitudinale (al centro) e sezione trasversale (in basso). Incisione del 1841. *Larderello, Tuscany (an engraving of 1841). "Adrian boiler". Layout (top), longitudinal section (center) and cross section (bottom).*

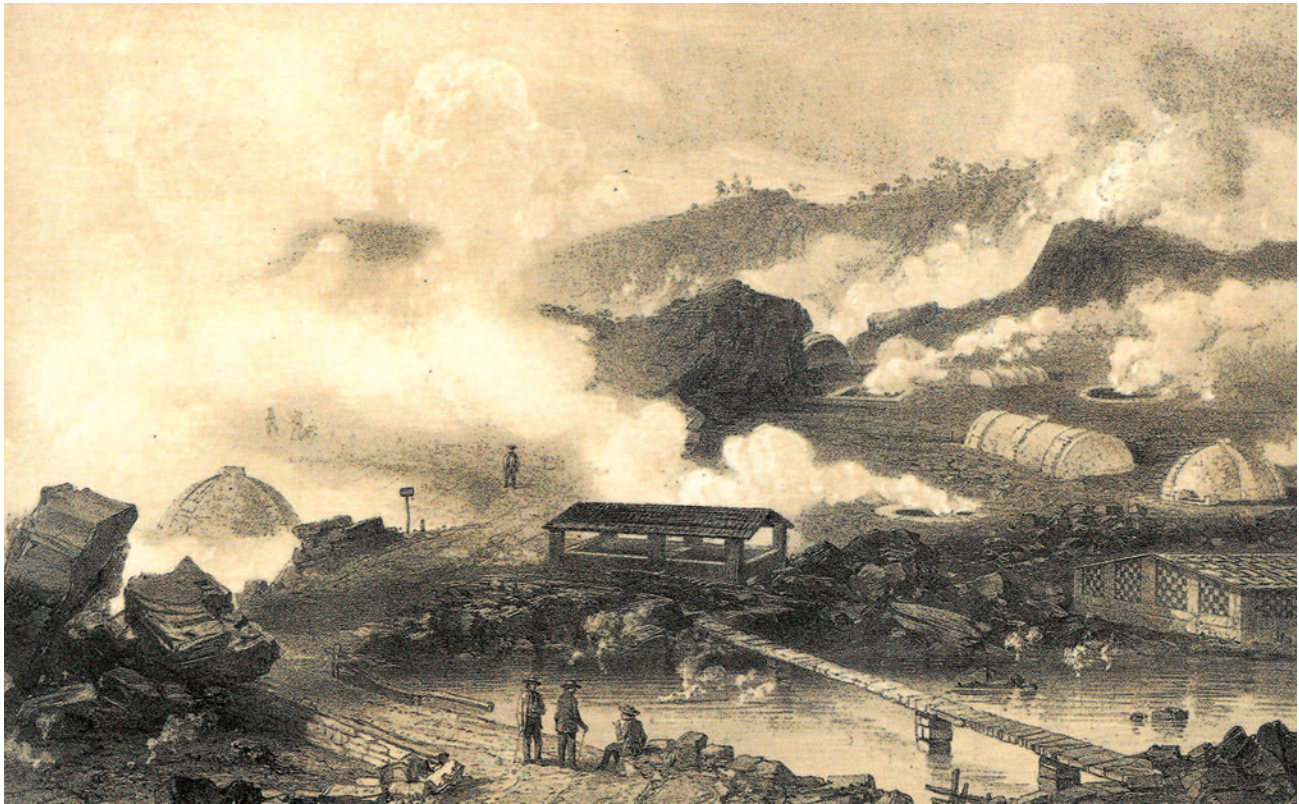


Fig. 20 - L'industria dell'acido borico a Larderello, Toscana, nella prima metà dell'800. Il vapore che scaturisce dai "lagoni" viene raccolto nelle cupole di mattoni dette "lagoni coperti" ed inviato alla "caldaia adriana", al centro dell'immagine. Incisione del 1850.
The boric acid industry at Larderello, Tuscany, in the first half of the 19th century. Steam flowing from the brick domes (called "covered lagoni") is collected and conveyed to the "Adrian boiler" (center). An engraving of 1850.



Fig. 21 - Area di Larderello, Toscana. Primo laboratorio geochimico mobile montato su carrozza trainata da cavalli (inizi del 1900).
Larderello area, Tuscany. The first mobile geochemical laboratory mounted on a horse-drawn carriage in the early 20th century.



Fig. 22 - Il Principe Piero Ginori Conti ed il primo esperimento di generazione di energia elettrica con vapore geotermico. Larderello, Toscana, 1904.

Prince Piero Ginori Conti and his first experiment of electricity generation from geothermal steam. Larderello, Tuscany, 1904.

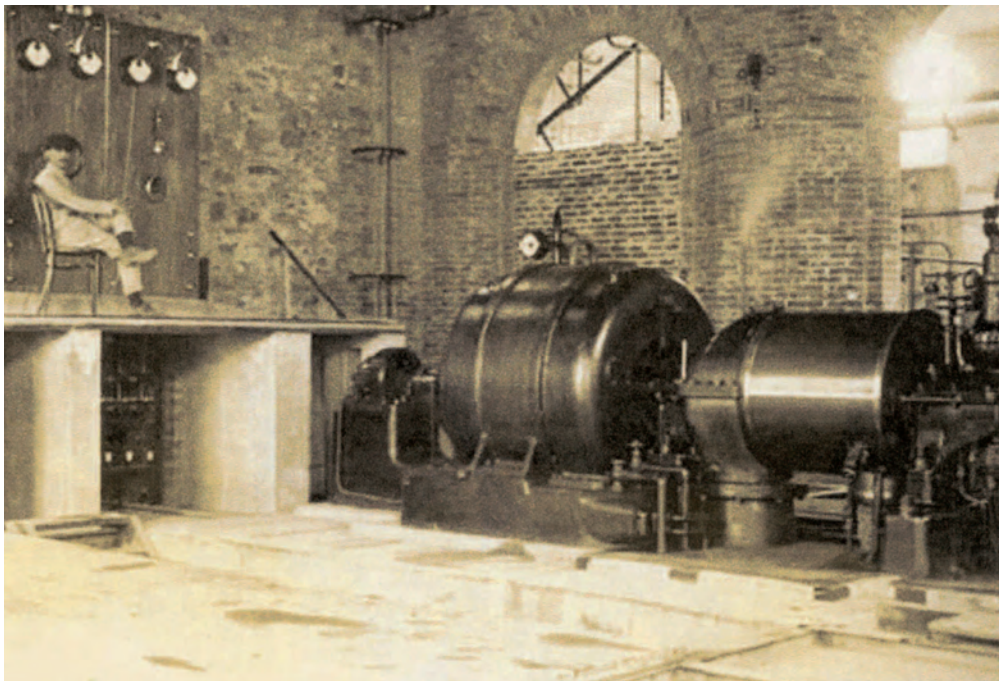


Fig. 23 - La prima centrale geotermoelettrica del mondo, di 250 kW di potenza, installata a Larderello in Toscana nel 1913.

The first geothermal power plant in the world, with a capacity of 250 kW, built at Larderello, Tuscany in 1913.

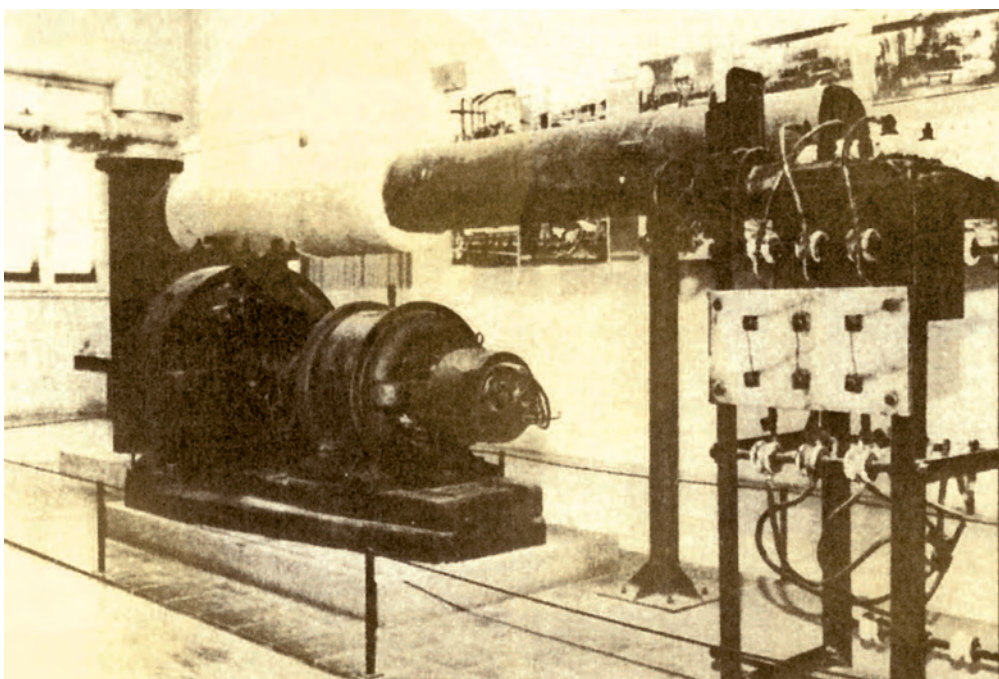


Fig. 24 - Il primo gruppo geotermoelettrico a scarico libero nell'atmosfera (ciclo diretto), da 23 kW di potenza, installato nell'area di Larderello, Toscana, nel 1923.

The first geothermal generating unit with atmospheric exhaust (direct cycle) and a capacity of 23 kW, installed in 1923 in the Larderello area, Tuscany.