

出國報告（出國類別：考察）

地熱展前置研究與展示資料搜集計劃

服務機關：國立自然科學博物館

姓名職稱：何恭睿／助理研究員、張瀛之／研究助理

派赴國家／地區：義大利

出國期間：2025年5月1日至2025年5月15日

報告日期：2025年6月

摘要

「地熱展前置研究與展示資料搜集計劃」旨在為國立自然科學博物館 2026 年預計舉辦的地熱特展蒐集基礎研究資料，並且參考相關主題博物館參考展示案例。

臺灣地熱資源豐富，地熱也是近年政府積極開發的重點永續能源之一。考察以義大利地熱、火山地區為核心，行程涵蓋西西里島的埃特納火山、那不勒斯地區的維蘇威火山、龐貝古城及赫庫蘭尼姆古城，以及托斯卡尼大區的地熱博物館、地熱發電廠、地熱啤酒廠、地熱農場和地質博物館等。

藉由這些實地訪查，不僅豐富了策展團隊對地熱原理、發電技術與應用的理解，更進一步觀察理解到在地人如何將地熱與當地生活、產業、文化、觀光融合，同時也透過與在地人士的洽談，深入地理解民眾對於地熱資源的看法，對於策展規劃內容有相當深遠的啟發，後續也將持續透過展覽與教育活動推廣普及地熱相關主題知識，並拓展國際交流，提升臺灣地熱發展能見度。

目次

| | |
|---|-----------|
| 壹、計劃目的與簡介 | 4 |
| 一、計畫目的與簡介 | 4 |
| 二、緣起與目的 | 4 |
| 貳、執行過程紀錄 | 5 |
| 一、計畫行程 | 5 |
| 二、參訪地點與重點紀錄 | 6 |
| (一) 西西里大區 (SICILY) | 7 |
| 1. 敘拉古尼亞波利考古遺址公園 (Parco Archeologico Neapolis) | 7 |
| 2. 埃特納火山 (Mount Etna) | 8 |
| (二) 那不勒斯地區 | 10 |
| 1. 維蘇威火山 (Mount Vesuvios) | 10 |
| 2. 龐貝城火山噴發遺跡 (Pompeii) | 12 |
| 3. 赫庫蘭尼姆古城 (Ercolano, Herculaneum) | 14 |
| (三) 托斯卡尼大區與地熱 | 16 |
| 1. 比薩省：拉岱洛 (Larderello) 與薩索皮薩諾 (Sasso Pisano) | 17 |
| (1) 礦業博物館 (Museo Delle Miniere) 與卡波爾恰諾礦坑 (La Miniera di Caporciano) | 17 |
| (2) 地熱博物館 (Museo della Geotermia) 與地獄谷 (La Valle del Diavolo) | 18 |
| (3) 地熱發電廠 (Enel Green Power) 相關設施 | 20 |
| (4) 拜訪歐洲地熱技術與創新平台 (ETIP-Geothermal) 主席、STEAM 地熱資源評估代表 Luca Xodo | 22 |
| (5) 地熱啤酒廠 (Vapori di Birra) | 23 |
| (6) 噴氣孔 (Parco delle Fumarole di Sasso Pisano) 公園 | 24 |
| (7) 地熱農場 (Parvus Flos) | 25 |
| 2. 西恩納省：拉迪孔多利 Radicondoli | 26 |
| (1) 土地能源博物館 (Museo Le Energie del Territorio) | 27 |
| 3. 格羅塞托省：蒙泰羅通多馬里蒂莫 (Monterotondo Marittimo) 區域 | 28 |
| (1) 地質博物館 (MUBIA, museo delle Biancane) | 28 |
| (2) 地熱國家公園 (Parco naturalistico geotermico delle Biancane) | 29 |
| (3) 地熱酪農場 (Podere Paterno) | 32 |
| 參、心得及建議事項 | 34 |

壹、計劃目的與簡介

一、計畫目的與簡介

(一) 計畫名稱：地熱展前置研究與展示資料搜集

(二) 計劃執行人員：

| 人員 | 職稱 | 業務 |
|-----|-------|---------------------|
| 何恭睿 | 助理研究員 | 地質學組岩礦學門蒐藏經理、地熱展策展人 |
| 張瀛之 | 研究助理 | 展示規劃與詮釋、地熱展策展人 |

(三) 前往國家：義大利。

(四) 執行時間：114 年 5 月 1 日至 5 月 15 日，共計 15 日（因搭乘航班時間，二人返程時間不同。）

二、緣起與目的

近年氣候變遷劇烈，低碳永續的再生能源發展成為因應氣候變遷的能源轉型重要趨勢。常見的太陽能 and 風力發電外，地熱也已被列為我國重要的再生能源發展項目之一，其可長時間運轉並不受氣候影響的特質，評估有助於穩定用電，是未來能源發展最具潛力的項目之一。

國立自然科學博物館為提供新知並回應當代議題，預定於 2026 年推出地熱展，與中研院、中油、蘭陽博物館等各中央與地方機關、事業體合作，深入淺出地向國人介紹地熱能的特色、原理與應用，帶動觀眾思考，能源運用如何結合地方產業經濟，共生共榮。

為於 2026 年辦理前揭特展，於 2025 年春季訪問世界上最早設置地熱發電廠、多面向使用地熱能的義大利，深入理解義大利如何與火山及地熱資源共榮共存，預定考察當地著名的地熱電廠與相關地熱設施，並參訪拉德雷羅等地的地熱博物館、地熱相關地質展示，進行前置研究考察與展示案例資料蒐集。

本案經費獲財團法人國立自然科學博物館文教基金會公務出國補助與本館科博之眼出國計畫支持。

貳、執行過程紀錄

一、計畫行程

| 日期 | 行程 |
|----------|---|
| 5/1 (四) | 去程交通 1. 臺中－桃園中正機場 2. 長途飛機 |
| 5/2 (五) | a. 桃園中正機場 TPE－伊斯坦堡 IST－卡塔尼亞 CAT b. 桃園中正機場 TPE-羅馬 FCO－卡塔尼亞 CAT *因前一日各有行程，分別前往 3. 出關／租車前往敘拉古，辦理住宿事宜 |
| 5/3 (六) | 敘拉古尼亞波利考古遺址公園 Parco Archeologico Neapolis |
| 5/4 (日) | 1. 埃特納火山 Mount Etna 2. 交通：卡塔尼亞 CTA-那不勒斯 NAP |
| 5/5 (一) | 龐貝城 (Pompeii) 火山噴發遺跡 |
| 5/6 (二) | 維蘇威火山 (Mount Vesuvios) |
| 5/7 (三) | 車程 那不勒斯-佛羅倫斯 (高鐵) |
| 5/8 (四) | 1. 車程－前往 La Miniera 2. 礦業博物館 (Museo Delle Miniere) 3. 卡波爾恰諾礦坑 (La Miniera di Caporciano) 4. 車程－前往拉岱洛 Larderello |
| 5/9 (五) | 1. 地熱博物館 (Museo della Geotermia) 2. 參訪地獄谷 (La Valle del Diavolo) |
| 5/10 (六) | 1. 考察地熱發電廠 Enel Green Power 周邊地熱設施 2. 拜訪歐洲地熱技術與創新平台 (ETIP-Geothermal) 主席、STEAM 地熱資源評估代表 Luca Xodo |
| 5/11 (日) | 1. 參訪地熱農場 (Parvus Flos) 2. 參訪土地能源博物館 Museo Le Energie del Territorio |
| 5/12 (一) | 1. 地熱國家公園 (Parco naturalistico geotermico delle Biancane) 2. 地質博物館 (MUBIA museo delle Biancane) |
| 5/13 (二) | 共同行程 1. 參訪地熱啤酒廠 (Vapori di Birra) 2. 地熱露頭 (Fumarola a Sasso Pisano) 3. 車程 由蒙泰羅通多馬里蒂莫地區前往羅馬 (租車自駕) 回程交通 羅馬－伊斯坦堡－臺北 |
| 5/14 (三) | 回程交通 |
| 5/15 (四) | 羅馬－臺北 |

二、參訪地點與重點紀錄

義大利位於歐亞板塊與非洲板塊的交界，是全球地震活動與火山運動熱點，這些地質特性與活動提供了地熱資源發展的絕佳潛能，使義大利得天獨厚地擁有豐富地熱資源。

義大利同時是全世界第一個使用地熱發電的國家。西元 1904 年，康弟利用天然蒸汽使四分之三馬力的發電機運轉，成為人類利用地熱發電的開端。該國最早開發供電的拉岱洛 (Larderello) 地熱田，至今仍然營運，每年可以提供 770MW 的電力，多年的技術發展，使其成為世界地熱能源利用的重要先驅與示範點之一。

該國的地熱區主要位於托斯卡尼大區 (Tuscany)、拉齊奧大區 (Lazio)、坎帕尼亞大區 (Campania)、西西里大區 (Sicily)，其中托斯卡尼大區 (Tuscany) 包括了拉岱洛 (Larderello)、馬雷馬 (Maremma) 和阿米亞塔山 (Mount Amiata) 等地熱田；拉齊奧大區 (Lazio) 則涵蓋了奇維塔韋基亞 (Civitavecchia) 和維泰博 (Viterbo)；坎帕尼亞大區 (Campania) 內則有著弗萊格雷區 (Phlegraean Fields)，也就是維蘇威與索爾法塔拉火山 (Solfatara volcano) 所在區域，同時還有火山島伊斯基亞島 (Ischia)；西西里大區 (Sicily) 則是埃特納火山所在地。該國境內至 2025 年為止，共有 34 個地熱電廠，全數位於托斯卡尼大區，約供應了當地 34% 所需電力。

考量時間、經費以及相關地熱點的地理位置相關性、地熱應用多樣性，本次主要參觀區域集中於最具盛名的維蘇威火山與埃特納火山周邊，以及地熱資源密集且應用多元的托斯卡尼大區。針對火山區域的考察重點，除了聚焦在火山地形地質的觀察，也著重在地人類生活與地熱資源的互動關係。托斯卡尼地區的考察重點，則集中在地熱的應用技術與影響，除了訪查當地自然公園、地熱谷等地熱現象，觀察電廠相關設施，同時也聚焦於運用地熱能發展營運的產業事業體，如鄰近的地熱農場、地熱啤酒廠等，深入理解義大利地熱資源的歷史開發、利用及對當地文化和環境的影響。



圖 1 考察區域示意圖

除了蒐集義大利地熱運用的案例，同時也參訪當地相關主題地熱與地質博物館，觀察博物館如何闡述地熱能，並將在地意識、特色與社群共好的概念帶入地熱主題的介紹中。其中，預定參訪的地熱博物館（Museo della Geotermia），由 Larderello 公司於 1956 年成立，介紹了自中世紀以來人類對於地熱資源的利用，與冰島地熱能源展覽中心（Geothermal Exhibition, Iceland）、紐西蘭懷拉基地熱發電站（Wairakei Geothermal Power Station, New Zealand）、美國黃石國家公園地熱區展示（Geothermal Areas of Yellowstone National Park, USA）、日本別府地熱展示館（Beppu Geothermal Museum, Japan），為全世界前五名的地熱展示館。過去團隊研究策展人、地質學組助理研究員何恭睿長期深耕地熱科學領域，曾前後訪問前述幾大知名的地熱展館（冰島、紐西蘭、日本等），透過本次參訪義大利相關主題館舍，也提升了展示案例與資料蒐集的完整性。

除此之外，本案團隊也拜訪歐洲地熱技術與創新平台（ETIP-Geothermal）主席 Luca Xodo。除了交流臺灣地熱發展現況，同時也就地熱知識普及與推廣，未來地熱產業可能性，以及後續展示走向國際合作、與國際接軌、提升能見度等有相當的討論。

（一）西西里大區（Sicily）

1. 敘拉古尼亞波利考古遺址公園（Parco Archeologico Neapolis）

尼亞波利考古遺址公園位於義大利西西里島的敘拉古，它的歷史可以追溯到西元前 5 世紀，見證了古希臘和古羅馬文明的興衰，是了解地中海地區歷史文化的重要場所。義大利政府在 1952 年至 1955 年間，將尼亞波利幾座紀念性建築物整合為考古遺址公園，以保護這些珍貴的考古遺跡。

公園內幾處重要遺跡包括在岩石中開鑿而成的古希臘劇院（Teatro Greco），可以容納 15,000 人，是古希臘時期戲劇表演、政治會議和公共儀式的重要場所。經過整修後，今日仍有許多藝文演出在此登場，是公園內最宏偉的遺跡之一。

同樣的，西元前 3 世紀建立的羅馬圓形劇場（Anfiteatro Romano）規模也相當宏偉，用於角鬥士表演和馬術比賽。雖然大部分結構已損毀，但仍能感受到其當年的輝煌。

遺址中的古代採石場（Latomie）歷史則可以追溯到公元前 6 世紀，敘拉古許多重要建築的石材都是由此開採。其中的天堂採石場（Latomia del Paradiso）更是西元前 413 年敘拉古與雅典戰爭中，雅典戰俘的囚禁之地。



圖 2 長約 200 公尺的希倫二世祭壇 (Ara di Ierone II) 是古希臘時期最大祭壇之一，用於大規模動物獻祭。



圖 3 繩匠洞 (Grotta dei Cordari) 是採石場內的洞穴，因常年潮濕適合製繩而得名。



圖 4 整修過後的古希臘劇院，當前也不時邀請當代藝文團體演出。



圖 5 遺址公園內多處角落，均引進當代藝術作品展示。



圖 6 羅馬圓形劇場



圖 7 狄奧尼修斯之耳 (Orecchio di Dionisio) 是人工開鑿的石灰岩洞，傳聞暴君狄奧尼修斯曾在此監聽囚犯對話。

2. 埃特納火山 (Mount Etna)

位於義大利西西里島東岸的埃特納火山 (Mount Etna)，是歐洲最高、最活躍的火山，海拔約 3,300 公尺。它屬於板塊隱沒帶邊緣形成的複式火山系統，火山活動頻繁、類型多樣，包含熔岩噴泉、火山渣、火山礫與蒸氣雲

等噴發現象。2025年6月2日，埃特納火山再次噴發：這次爆發由東南火山口（SEC）部分坍塌引發，導致火山灰、氣體與熔岩噴射，形成高達約6,500公尺（約21,300英尺）的火山灰柱，並產生快速的火山碎屑流。

登上海拔超過3,000公尺的主火山區，需搭乘纜車與四輪驅動登山巴士，再步行穿越崎嶇熔岩地形。沿途可見冷卻後形成的熔岩隧道（lava tube），也能觀察到因氧化作用而變色的紅色火山口（Red Crater）與破碎岩層結構。此外，火山表層仍殘留冰雪，與黑色火山岩形成鮮明對比，景觀壯闊而奇異。

參觀埃特納火山的路途中，也可以看到許多位於中途的民宅與餐廳，令人不禁好奇該處居民對於火山的想法。與在地嚮導洽談中得知，在地居民對火山雖心存敬畏，但也深懷感謝之心。因為火山不時的噴發雖然可能帶來威脅，但是埃特納山腳下的土地也因火山灰而肥沃，農業生產成果豐盛，也讓居民因此獲利。加以當代精密的監測與警戒系統，因此在地居民能在火山環境下安居。



圖8 遠眺覆蓋冰雪的埃特納火山頂，展現冰火交融的壯麗景致。



圖9 登頂過程中可見火山口周圍殘雪與黑色火山岩強烈對比的地景。



圖10 岩漿通道（lava tube）。熔岩流動時，表層冷卻形成外殼，內部仍持續流動，因此在噴發後留下中空的熔岩隧道。



圖11 登上主火山需依序乘坐纜車、四輪驅動巴士，再步行攀登至高海拔地區。



圖 12 埃特納火山頂的紅火山口（Red Crater），岩石經氧化呈現鮮紅色，呈現火山口陷落與破碎的岩層結構。



圖 13 參訪成員與專業嚮導合影，紀錄挑戰高山火山地形的經驗。

（二）那不勒斯地區

1. 維蘇威火山（Mount Vesuvius）

維蘇威火山位於義大利南部、拿坡里灣東側，距離那不勒斯市中心僅約 20 公里，是歐洲最著名且潛勢最高的活火山之一。海拔約 1,281 公尺，屬於由隱沒帶活動所形成的弧形火山，地質上隸屬於坎帕尼亞火山弧（Campanian Volcanic Arc）。其最著名的一次噴發發生於西元 79 年，毀滅了龐貝（Pompeii）、赫庫蘭尼姆（Herculaneum）等繁榮的古羅馬城市。火山灰與火山碎屑以驚人速度覆蓋整座城市，雖造成大量傷亡，卻也奇蹟式地保存了當時的建築與生活樣貌。

維蘇威火山是歐洲唯一位於人口密集地區旁的活火山，目前仍處於嚴密監控之下。自 1944 年最後一次主要噴發以來，雖進入休眠期，但其潛在威脅仍不容忽視。通往火山口的健行步道「Grand Cono」全長約 4 公里，海拔爬升近 200 公尺，沿途可觀察到層狀火山的代表地形：火山渣（scoria）與熔岩層交錯堆積，深成岩露頭顯示火山活動的多階段歷史。步道沿線也可遠眺那不勒斯灣與市區景觀，左側則為 Monte Somma 的舊火山口殘壁，顯示維蘇威火山實為古火山再生的產物。

火山口直徑約 4 公里，為過去劇烈噴發所留下的地質構造，目前仍可見硫氣逸散與岩壁崩落痕跡。沿途設有舊式地震監測儀器展示，與地表下現代化監測設備形成對比。部分路段岩石上設有聖母瑪利亞像與義大利文禱詞，反映當地居民面對災難的信仰寄託，紀念龐貝等地的悲劇，並祈求火山安穩。

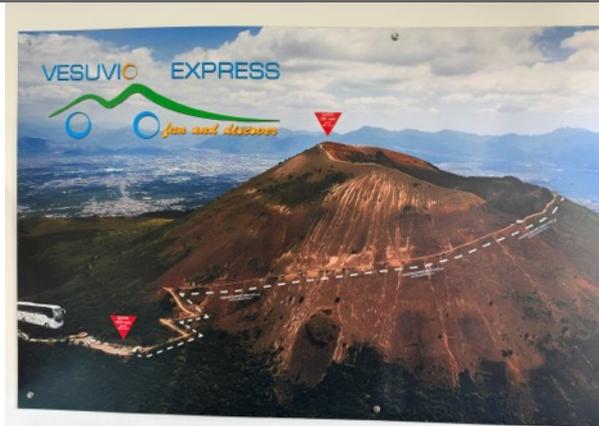


圖 14 通往維蘇威火山口的 Grand Cono 健行步道，全長約 4 公里，沿途可眺望火山與那不勒斯灣壯麗景觀。



圖 15 Grand Cono 為層狀火山代表地形，可觀察火山碎屑與熔岩層交錯堆積的構造特徵。



圖 16 步道旁可見火山渣與深成岩露頭，揭示多階段的火山活動歷史。



圖 17 步道左側可見 Monte Somma 的舊火山口殘壁，右側則為向外延伸的火山斜坡（volcanic slope），構成典型層狀火山地形。



圖 18 直徑約 4 公里的維蘇威火山口是過去一次巨大噴發事件所留下的地質遺跡，顯示出其曾發生劇烈且規模龐大的火山活動。



圖 19 緊鄰那不勒斯灣東岸的維蘇威火山口。那不勒斯市中心分布於火山西北側的沿海地區，為本區最大都市。



圖 20 過去的地震活動檢測設備，但現今的設備多埋藏在地面下，舊有的設備供遊客觀賞。



圖 21 在火山渣上的聖母瑪利亞像與義大利文的禱詞，可能是為了紀念歷史上的火山災難，如西元 79 年的龐貝城毀滅事件，以及祈求當地居民免受火山再次爆發之苦。

2. 龐貝城火山噴發遺跡（Pompeii）

維蘇威火山在西元 79 年大噴發，摧毀了龐貝城以及濱海的赫庫蘭尼姆、斯塔比亞等城市。18 世紀中期，考古發掘才陸續讓當時擁有 2 萬多名居民的龐貝古城重見天日。

龐貝古城位於維蘇威火山的東南方，距離火山口約 8 公里。火山爆發時，龐貝首先遭受了大量的火山灰和浮石雨的襲擊。這些輕質的火山碎屑持續落下，逐漸堆積，最終將整個城市與城市中約 2 萬名居民掩埋在約 4 至 6 米深的火山灰下。由於是被火山灰和浮石掩埋，龐貝的建築物屋頂大多因重壓而坍塌，但牆壁和內部結構相對保存較好。

這座城市的規模相當大，人口約在 1.1 萬至 2.5 萬人之間，城市街道為整齊的棋盤狀分佈，考古發現也呈現了古羅馬城市中各社會階層生活的細節。從富人的豪宅到常民居所，權力與信仰的中心神廟、神殿，政治經濟中心的廣場、法庭與商業交易所，象徵權威的紀念拱門，娛樂與文化的競技場、劇場，生活休閒的浴場，民生所需的水塔、引水系統、糧倉與鋪石街道等，以及公廁、排水系統與下水道等衛生設施，甚至是酒館、麵包店、染坊與洗衣房等供應生活所需的商業設施，還有大量日常生活物品、壁畫、街頭塗鴉，均因火山灰密封得以保存，讓龐貝展現了當時羅馬帝國城市生活的真實面貌。

令人驚奇的是，許多罹難者被火山灰掩埋後，屍體腐爛留下空洞，近現代帶考古學家利用石膏灌注技術，成功還原當時人們在災難中掙扎、死亡的姿態，這些石膏人像成為龐貝最具標誌性的景象之一。目前，龐貝古城發

掘出來的考古文物，多半進入那不勒斯國家考古博物館（Museo Archeologico Nazionale di Napoli）保存。

另外，本次查訪的研究人員發現，龐貝古城建材多取自濱海生物礁與火山噴出岩，顯示當地早已有火山活動記錄，只可惜當時火山學還未發展，無法提供有效的防災知識。



圖 22 維蘇威火山腳下的龐貝古城，殘存的屋舍建築屋頂多已因重壓坍塌。



圖 23 遺址中的公共浴池。牆角裂隙處，可以看到過去熱水導入建築內部的管線痕跡。



圖 24 火山灰中遺留空洞灌注而成的石膏人像。



圖 25 在遺址中許多角落，展示了當代藝術作品，呈現古今對照、當代藝術家對歷史的創發懷想。



圖 26 龐貝古城的石牆。從遍佈氣孔與玻璃質的組織可以發現建城前就有火山爆發歷史。



圖 27 龐貝古城的石牆，可見生物礁岩與火山噴出岩。

3. 赫庫蘭尼姆古城（Ercolano, Herculaneum）

考察人員原訂共同參訪維蘇威火山，後因部分成員個人健康問題而分別前往赫庫蘭尼姆古城（Ercolano，又譯為 Herculaneum）與維蘇威火山參訪。赫庫蘭尼姆古城與龐貝古城一樣，位於義大利那不勒斯灣附近，因西元 79 年維蘇威火山爆發而被火山灰掩埋，得以保存至今。雖然不若龐貝城佔地幅員廣闊，但因保存完整頗負盛名，是當地許多學校校外教學的重要場域。

赫庫蘭尼姆位於維蘇威火山西側，距離火山口僅約 7 公里。火山爆發時，被混合了高溫氣體、火山灰和岩石碎片的火山碎屑流（pyroclastic flow）與泥石流所瞬間吞噬。由於其高溫和衝擊力，瞬間碳化了木材、布料、紙張等有機物，使其在無氧環境下得以保存，不像龐貝一樣被火山灰腐蝕或分解。因此，在這裏的博物館中，可以看到保存完好的木製家具、繩索等。除此之外，赫庫蘭尼姆是個較富裕的度假區或富人居住區，許多房屋壁畫、馬賽克拼貼地磚等精美裝飾，也都被保存了下來。

特別的是，考古學家在赫庫蘭尼姆古城近海岸邊的石造船塢中，發掘出約 340 具古羅馬人的遺骸，其中包括了成人與孩童，甚至還發現了孕婦。這些人應是在火山爆發時試圖逃到船塢由海路出發避難逃生，但因火山爆發的碎屑、泥石流瞬間高溫，導致熱休克死亡，身體的軟組織迅速蒸發，只剩下骨骼被火山灰固定住形狀。當然，原始骨骸已經被妥善保存研究，但現場也依照發掘狀況製作了仿製品供遊客想像與了解當時緊急的樣貌。從骸骨形態上可以清晰地看到大人抱著小孩保護的姿態，不及逃生倉皇與驚恐的樣態。這些骸骨，也成為了後世研究當時羅馬人的重要素材。如，從骸骨中可以看出當時女性平均身高多在 151.7 - 155.2 公分、男性 163.8 - 169.1 公分，營養充足且生長環境良好，甚至可以從頭骨發現的搔癢痕跡看出當時頭蝨相

當普遍。

兩座古城分別提供了獨特的生活歷史與證據，讓我們得以一窺近兩千年前古羅馬帝國的生活，而各自不同的保存狀態與方法，也展現了維蘇威火山爆發對人類文明的影響，同時體現了歷史遺址作為時空膠囊，引導當代人類思索防災意識的重要性。



圖 28 古城沿著坡地向海岸方向延伸。



圖 29 相對於龐貝古城，赫庫蘭尼姆古城中留下了許多更為完整且精緻的的壁畫、地面馬賽克拼貼裝飾等。



圖 30 古城的船塢面向大海，正是過去出海船隻停放的位置。



圖 31 船塢內保了多樣的骸骨（仿製品）供參觀者懷想火山爆發當下緊急樣態。



圖 32 遺址內設有博物館，館內展示了被碳化留存的木舟，清晰地呈現了火山噴發後被無氧保存的



圖 33 博物館內留存的碳化繩索。

（三）托斯卡尼大區與地熱

托斯卡尼是全球最早開發地熱資源的地區之一，其地熱活動集中於中南部，構成所謂「托斯卡尼地熱谷」（Valle Geotermica）。自 19 世紀末以來，當地便開始利用天然噴氣孔與熱泉進行工業實驗與能源開發。至今，托斯卡尼地熱區不僅供應義大利相當比例的地熱電力，也結合地熱供暖、農業應用、溫泉療養與地質旅遊，成為全球少見將地熱資源與日常生活深度結合的範例。

托斯卡尼地熱區，主要集中於格羅塞托（Grosseto）、比薩（Pisa）and 西恩納（Siena）等省分。本次主要集中參訪其中幾個具代表性之處，包括比薩省的拉岱洛（Larderello）、薩索皮薩諾（Sasso Pisano），西恩納省的拉迪孔多利（Radicondoli），格羅塞托省的蒙泰羅通多馬里蒂莫（Monterotondo Marittimo），觀察其各自的地熱利用模式與文化特色。由於交通上由佛羅倫斯出發，則順路造訪了位於比薩省的礦業博物館區域。

比薩省（Pisa）的拉岱洛（Larderello），是世界上地熱發電的發源地。早在 1904 年便成功點亮了第一盞以地熱蒸氣發電的電燈，並於 1913 年建成世界第一座地熱發電廠。當地深部地層富含高溫蒸氣，透過井孔開採後可直接用於發電、工業乾燥與供暖系統。如今，拉岱洛擁有超過 30 座地熱電廠，為義大利主要的地熱電力來源。當地亦設有地熱博物館，記錄超過百年的地熱開發歷史，是能源科學教育的重要基地。

薩索皮薩諾（Sasso Pisano）位於拉岱洛東南方，也在比薩省的範圍內。地表散布眾多噴氣孔與泥漿池，並可見大量白色硫化物沉積形成的「biancane」地景。此區的熱液活動尤為強烈，是托斯卡尼地熱變質現象的代表。除了地熱發電之外，該區積極發展地熱農業，利用地熱溫室種植蔬果與花卉，同時推動地方觀光，設有地熱主題步道與展示設施，吸引遊客近距離觀察地熱現象，是結合地熱於產業、技術與觀光的場域。

拉迪孔多利（Radicondoli）則位於西恩納省（Siena）西部，是結合地熱應用與社區福祉的範例之一。該地的地熱電廠雖規模不大，但卻在居民生活中扮演重要角色。透過地熱供暖系統與電費補貼，當地居民享有穩定且低碳的生活條件。此外，拉迪孔多利也積極參與綠能教育與社區導覽，展現出小型地熱社區在能源轉型中的潛力與可行性，是義大利地熱政策中強調社會共融的實踐案例。

蒙泰羅通多馬里蒂莫（Monterotondo Marittimo）位於格羅塞托省北部，馬雷馬地區，也是托斯卡尼地熱帶的南緣重鎮。最著名的是位於城鎮外圍的 Biancane 地熱自然公園，園區內遍布白色岩地、噴氣孔與硫磺氣體噴流，構成極具視覺衝擊力的地熱地貌景觀。當地的地熱發電亦具規模，並與環境教育與觀光產業相結合，透過導覽、解說與展示中心，提升公眾對地熱能源的理解與興趣。這裡不只是地熱生產基地，更是一座融合自然與科技的地熱教育場域。

托斯卡尼大區 考察地點分佈圖



圖 34 托斯卡尼大區考察區域示意

1. 比薩省：拉岱洛（Larderello）與薩索皮薩諾（Sasso Pisano）

（1）礦業博物館（Museo Delle Miniere）與卡波爾恰諾礦坑（La Miniera di Caporciano）

卡波爾恰諾礦坑（La Miniera di Caporciano）位於義大利托斯卡尼地區蒙泰卡蒂尼瓦爾迪切奇納（Montecatini Val di Cecina），是一座歷史悠久的銅礦，也是 1827 年至 1907 年間歐洲最重要的銅礦產區。

礦坑所在地蒙特卡蒂尼瓦爾迪切奇納是個位於中世紀村莊，村莊的歷史與銅礦開採歷史緊密相連。礦場雖然在 1907 年結束開採，但經過修復和部分重建，於 2003 年開設了礦業博物館，向大眾展示礦坑與在地的產業史。

據館員表示，每年會有 5,000 名左右的旅客到訪，尤其以來自德、法的旅客居多。來訪觀眾多對礦業歷史和工業遺產感興趣。館舍的主題導覽中，會安排觀眾參觀礦井結構、蒸汽提升裝置及礦工生活與工作的展示，了解這個地區在工業革命中的重要角色。希望透過礦場與博物館的組合，讓觀眾從參觀體驗中，感受早年當地人勤勞、進取的精神，同時認識與在地命脈相連的礦產與自然資源應用。



圖 35 博物館與礦場入口。



圖 36 礦場外透過雕塑塑像讓觀眾懷想早年礦產與在地人的生活連結。



圖 37 礦場旁兩側小屋，展示了部分礦工物件。



圖 38 保留的礦場結構。

(2) 地熱博物館 (Museo della Geotermia) 與地獄谷 (La Valle del Diavolo)

位於義大利托斯卡尼的拉岱洛 (Larderello) 地熱博物館 (Museo della Geotermia)，自 1956 年成立以來，長期肩負展示與推廣地熱知識的使命，是全球五大地熱主題博物館之一，年參觀人次約達 3 萬人。該館毗鄰由義大利國家電力公司 Enel 的地熱發電廠，設有教育導覽活動，深受學生與專業團體歡迎。

展覽內容從古代文明與中世紀時期對地熱泉的早期利用，延伸至現代高壓蒸汽發電的產業技術，完整呈現地熱開發的歷史演進。館內收藏包含不同深度的地熱鑽井岩心標本與各時期鑽探與發電設備，觀眾可一窺地底數千公尺地層的真实樣貌，並理解過去如何從礪礦提煉與天然蒸氣中開發能源。此外，展廳內也展示了因長期熱水交代作用所導致的管線結垢問題 (scaling)，說明地熱能源在永續開發過程中所面對的挑戰。

鄰近的地獄谷 (La Valle del Diavolo) 是博物館參訪的延伸據點。該處地表釋氣孔密集，終年噴出大量高溫蒸氣與硫磺氣體，地貌壯觀、景象奇特。谷中可見紅褐色的氧化火山岩與中央新鮮凝灰岩形成

強烈視覺對比，為理解火山活動與地熱作用提供了極具教育價值的現場觀察機會。但據館員說明，近年也取用平衡問題，造成地表地熱現象不若過往明顯。館員也特別帶參訪成員前往電廠廢棄的舊井，至今仍可噴湧出壓力 3 bar 的熱蒸氣。



圖 39 地熱博物館（Museo della Geotermia）門口全景，展示義大利拉岱洛的科學與歷史。



圖 40 展示托斯卡尼早期礮礦開採與天然蒸氣利用的模型，描繪地熱工業的起點。



圖 41 因熱水交代作用導致的管線結垢現象，說明地熱系統長期運作所面臨的產能衰減問題。



圖 42 托斯卡尼典型地熱電廠模型，因產出乾蒸汽壓力高，發電廠常配備大型煙囪作為特色。



圖 43 鑽井岩心樣本呈現自地表至數千公尺地底的地層構造，是地熱評估與地質研究的重要依據。



圖 44 現代金屬鑽井設備與過去木造井架時代的對比，展現地熱開發技術的演進。



圖 45 參訪人員與博物館人員於廢棄地熱井前合影，該處現用於科學教育。



圖 46 館員開啟廢棄井演示地底地熱資源，讓觀眾體驗蒸氣洩放的震撼視覺與聽覺效果。

(3) 地熱發電廠 (Enel Green Power) 相關設施

義大利國家電力公司綠能事業部 Enel Green Power 是義大利國家電力公司旗下的子公司，也是義大利最大的再生能源企業。母公司 Enel 於 1962 年以國營事業形式成立，1992 年企業化後仍由義大利政府持有主要股份。Enel Green Power 則專注於太陽能、風能、水力與地熱等綠色能源的開發與應用，其在托斯卡尼地區的拉岱洛地熱區為全球地熱發電的代表性地區之一，也是世界上最早商業化運轉的地熱田。

拉岱洛附近的 Valle Secolo 地熱發電廠 (Centrale geotermica di

Larderello Valle Secolo) 是歐洲規模最大的乾蒸汽型地熱電廠之一，自 1990 年代初投入運轉，由建築師 Giancarlo Rossi 設計，建築體現代簡潔，具流線美感與工業功能性並存。該電廠目前裝置容量接近 120MW，設有兩組 60MW 機組，並採用混合型冷卻塔設計以提高效率與環境適應性。

拉岱洛地熱區共分布約 34 座發電站，總裝置容量約為 800MW，使用來自乾蒸汽地熱田的高壓蒸汽發電，是歐洲能源自主與轉型的重要支柱之一。此次實地參訪時值電廠與義大利政府地熱發電權轉換期，未能進入電廠中參觀，但從周邊設施的觀察與紀錄，搭配我們深入了解義大利地熱能產業從鑽井、蒸汽生產、發電流程到電力分銷與管理的完整鏈結，也觀察到地熱井設置與管線工程如何在地景中融合並兼顧安全與運輸需求。



圖 47 拉岱洛地熱發電廠均採用乾蒸汽型發電，供應穩定高壓熱蒸汽。



圖 48 地熱井配備即時監測系統，確保蒸汽產量與壓力穩定。



圖 49 托斯卡尼地熱區內約有 34 座發電廠，總裝置容量達 800 MW。



圖 50 發電廠設有 60 MW 發電機組與混合冷卻塔，提升能源效率與環境適應性。



圖 51 穩定蒸汽的地熱生產井。



圖 52 拉岱洛常見越過道路高架的地熱蒸汽管線。

(4) 拜訪歐洲地熱技術與創新平台 (ETIP-Geothermal) 主席、STEAM 地熱資源評估代表 Luca Xodo

本次拜會 Luca Xodo，不僅是禮貌性的交流，也深入訪談與討論了解義大利與歐洲各國在地熱能源發展上的現況、挑戰與創新方向。訪談內容涵蓋義大利在地熱探勘上的技術演進、政策推動、與產業實務，同時關注地熱開發與周邊社區、環境之間的互動關係，這對未來策展將有助於引導觀眾理解能源與社會之間的多重關係。

此次會面也特別分享了臺灣在地熱資源開發上的經驗與實踐，促進雙邊的知識交流與觀點激盪，不僅拓展了策展的主題視野，也初步建立起未來合作與交流的聯繫基礎，開啟後續在地熱展示與教育推廣上的合作可能。



圖 53 與 ETIP-Geothermal 主席暨 STEAM 地熱資源評估代表 Luca Xodo 餐敘交流，深入探討義大利地熱探勘現況、核心技術與未來發展策略。



圖 54 參訪人員與 Luca Xodo 合影留念。

(5) 地熱啤酒廠 (Vapori di Birra)

位於義大利托斯卡尼中部的中世紀村莊薩索皮薩諾 (Sasso Pisano)，是個歷史悠久的地熱聚落。這裡地熱資源豐沛，村落周邊可見天然蒸氣孔與地熱設施。在這樣的環境下，誕生了義大利第一家以地熱蒸氣作為主要能源的啤酒廠——Vapori di Birra，意即「蒸汽的啤酒」。

啤酒廠的負責人是 Domelia Ruffini 女士，她的丈夫正是當地地熱電廠的工程師。她巧妙結合地熱這項自然資源與釀酒技術，讓啤酒生產過程從麥芽糖化、煮沸到發酵階段都使用地熱蒸汽作為熱源。蒸汽並不會直接接觸原料與酒液，但相對潔淨而穩定的能源來源，有效降低了生產碳足跡，也是啤酒廠的宗旨「將大地的呼吸，轉化為啤酒的泡沫」。

Domelia 強調，電廠給予在地居民相當優惠的地熱使用價格，啤酒廠只需支付從 Enel 地熱電廠到廠區間的管線使用費，不需額外再支出地熱使用的經費，大幅降低營運成本。這種創新的在地結合，不僅體現循環經濟與永續精神，也成功打造出兼具風味與理念的啤酒品牌。雖然釀造空間不大，但地熱啤酒廠年產量驚人，還設有開放式戶外品飲空間，吸引許多遊客前來造訪。釀酒區內則可見 Enel 地熱井輸送蒸汽的系統，包括壓力與溫度的即時監控裝置，展現其技術成熟度與自動化程度。



圖 55 負責人 Domelia Ruffini 說明如何利用地熱蒸汽釀酒。



圖 56 啤酒廠假日開放的戶外品飲空間，吸引不少遊客前來品嚐。



圖 57 地熱井蒸汽系統連接至廠區，配備溫度與壓力監測儀器，維持釀造穩定性。



圖 58 釀造室雖然規模不大，卻維持高品質與穩定產量。



圖 59 廠區一隅釀造工具。



圖 60 參訪團隊與負責人 Domelia Ruffini 合影。

(6) 噴氣孔（Parco delle Fumarole di Sasso Pisano）公園

距離啤酒廠幾分鐘車程的薩索皮薩諾噴氣孔公園，宛如地球深處呼吸的出口，是一處持續釋放地熱能量的奇景。深層地熱活動持續釋出高溫蒸氣與火山氣體，地表岩石裂隙中形成眾多天然噴氣孔（fumaroles），硫磺結晶、沸騰熱泥與氣體不斷由噴氣孔中逸出，構成一幅動態的地熱地貌。

園區內的蒸氣溫度可高達攝氏百餘度，氣體以水蒸氣與硫化物為主，逸出時在裂隙周圍形成針狀硫磺結晶，呈現出地質環境中的高溫與高硫濃度。長年熱流交代作用使岩石表面顏色由淺黃、橘紅至深棕，明顯顯示氧化與熱水改質作用，形成紅白交錯、乾濕對比的特殊地貌。

噴氣孔周圍也有部分人為砌成的石堆，形成人造「煙囪效應」，集中並加速蒸汽排放，展現人類如何觀察、利用甚至調控自然地熱現象。公園中也可見導氣管線與電力設施，有意思的是，部分電力傳輸構件為玻璃材質製作，以避免高硫環境對金屬的腐蝕。此外，活斷層帶來的裂隙控制了氣體的逸出路徑，也讓該地成為天然的地質與能源實驗場域。雖然環境嚴苛，某些區域仍可見野生植被生長於熱

區邊緣，展現生物與極端環境的共存可能性。



圖 61 雖處高溫與高硫環境，仍有部分野生植被適應並生長於熱區邊緣。



圖 62 Biancane 地區紅白交錯的裸岩地景，顯示長期熱流與氧化交代的地質作用。



圖 63 岩石裂隙中形成針狀硫磺結晶，為高溫含硫氣體逸出的直接證據。



圖 64 人為堆起的石塊加強煙囪效應，引導與加速熱蒸氣上升。



圖 65 本計畫地熱調查人員於公園內觀察並紀錄地質現象，了解氣體逸出與斷層控制關係。



圖 66 園區電力設施的絕緣構件改以玻璃製成，以抵抗硫化氣體造成的腐蝕性損害。

(7) 地熱農場 (Parvus Flos)

位於義大利托斯卡尼地熱區的 Parvus Flos 農場，是一座結合再生能源與慢食理念的農業示範基地。農場核心設施是一座佔地 50 英畝的大型溫室群，全年穩定種植供應地中海料理中不可或缺的香草作物羅勒

(basil)。羅勒對生長環境極為敏感，最適合生長的溫度約為攝氏 18 度（華氏 64 度），這樣穩定的暖溫全靠地底源源不絕的地熱供暖系統。除了羅勒，農場溫室中也種植番茄等經濟作物，地熱管線與冷凝水系統維持穩定溫濕環境，打造全年無休運作的精緻農業。

Parvus Flos 農場由 Enel Green Power 提供地熱熱源。部分中小型地熱井雖不適合用於大型發電，但轉為農業利用，能達到能源分流與區域資源最大化的目標，農場就是很好的案例。此外，農場也與托斯卡尼慢食協會與再生能源社區食品協會密切合作，推動以潔淨能源耕作、產地直送、永續飲食等在地農業政策，成為綠色農業與能源共生的典範。

近來因農場蟲菌管理等私人因素，該農場不再對外開放參觀，但在拉迪孔多利周邊，也可以發現許多同樣運用地熱供暖的農場，可見地熱在當地的民生產業應用上已相當成熟。



圖 67 原訂參訪農場目前謝絕參觀。



圖 68 地熱農場大片溫室結構與埋設於地下的地熱管線共同組成永續農業系統。



圖 69 農場鄰近由 Enel 管理的地熱井，將產量較低的井轉作農業使用，實踐能源資源最大化。



圖 70 農場中的蒸汽管道系統在熱能循環後轉為冷凝水，集中於水槽回收再利用。

2. 西恩納省：拉迪孔多利 Radicondoli

義大利的拉迪孔多利（Radicondoli）地區位於托斯卡尼，毗鄰拉岱洛（Larderello）地熱區。這個地區也是廣泛應用地熱於發電、民生供暖和農業

等多元領域的區域之一。

埃內爾（Enel Green Power）在當地設置了 Radicondoli 2 地熱發電廠，拉迪孔多利市政府也和地熱區域發展聯盟（CoSviG）合作，將地熱發電特許權使用費用來補貼當地家庭和企業電費補貼。當地也將地熱田產生的熱水或蒸氣用於區域供暖（District Heating），直接送到住宅、公共建築和商業場所，取代傳統燃氣與燃油供暖系統。

（1）土地能源博物館（Museo Le Energie del Territorio）

土地能源博物館位在拉迪孔多利小鎮上，外型並不起眼，內部空間也不大，但是運用了許多生活化的工具製作互動展示，帶參觀者認識水力、地熱、太陽能、潮汐、風能等不同的能源運用，同時也介紹能源的帶來的力量如何作用於相關發電、日常生活設施。每年有約 500 名左右的參訪人次。

展覽讓觀眾從體驗中認識再生能源，更了解人類如何從自然中擷取與運用能源的智慧。從而引導觀眾思考，如何更有意識地尊重自己所在的這片土地與環境，並促進能源永續利用。特別的是，展場中針對在地重點發展的地熱能，設置了特別展區介紹，從歷史上對於地熱的應用，到地熱發電的科學技術等，有系統、脈絡地強調在地最重要的地熱能。



圖 71 土地能源博物館隱身於拉迪孔多利（Radicondoli）小鎮上，兼具旅遊中心功能。



圖 72 博物館空間小巧，但設置了許多趣味的互動裝置，介紹各種能源的運用。



圖 73 水力發電體驗裝置。



圖 74 運用電扇製作風力發電體驗裝置。



圖 75 展場中設置了一大地熱探勘與應用專區。



圖 76 展場隧道以圖文、影像與物件對照說明地熱應用。

3. 格羅塞托省：蒙泰羅通多馬里蒂莫（Monterotondo Marittimo）區域

（1）地質博物館（MUBIA, museo delle Biancane）

MUBIA（Museo delle Biancane）地質博物館位於義大利托斯卡尼地熱活躍區——Biancane 地區。Bianco 在義大利文中代表的是白色的之意，而「Biancane」就是「白色之地」，指的正是地表因熱流與氣體交代作用而漂白，呈現的暖白色地貌。以此為名的這座博物館，不僅是地熱學發展的見證者，更是地方居民對自然地熱資源的致敬與感恩之作。

MUBIA 以地球之母蓋亞（Gaia）為敘事主軸，結合視覺藝術、地質標本展示與互動科技，讓參觀者從腳下的地景出發，逐層深入地球內部，認識地底的地質組成。展覽內容涵蓋地熱地區的地質構造、岩石與礦物的生成過程、硼酸的發現史，以及地熱能如何轉化為電力的技術原理。透過生動的互動體驗與影片動畫，引導觀眾理解地形與地質的多樣性，並反思其與人類生活及環境永續之間的關係。

展廳中也援引文學經典，如義大利詩人但丁（Dante Alighieri）於《神曲》中對地熱現象的描述，讓地質科學與人文詩意巧妙融合。

展館後方，就是 Biancane 國家公園的步道入口，戶外的國家公園與室內展館的地質介紹可以交互印證，是極佳的地質學習場域，每年至少會有萬名遊客到訪，尤以歐洲的德、法、英國遊客居多，其中也不乏許多聞名而來的地質愛好者。



圖 77 MUBIA 的地質與野外展示空間，介紹當地火山活動與地熱作用下形成的岩層。



圖 78 空拍視角呈現 Biancane 地區紅白交錯的地熱地景，突顯礦物氧化與熱水換質作用特徵。



圖 79 互動裝置讓參觀者選擇不同地層與野外照片，深入了解岩石特性與分佈範圍。



圖 80 沉浸式互動體驗，帶領觀眾潛入地心不同深度，層層探索熱與石的誕生故事。

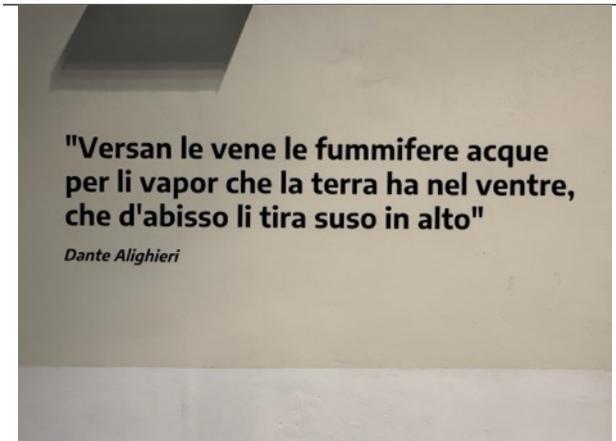


圖 81 引用神曲中但丁對地熱的描寫：「那些冒煙的地脈湧出水，是因為地球腹中積蓄的蒸氣，從深處將它們推升至地表。」



圖 82 本次參訪人員與博物館館員於館前合影，紀錄這場結合科學、藝術與地方記憶的參訪旅程。

(2) 地熱國家公園 (Parco naturalistico geotermico delle biancane)

Biancane 地熱國家公園，是義大利地熱活動最明顯、地貌最具特色的自然區域之一，也是地熱學與地質構造研究的重要場域。Biancane 意指本區呈現白化現象的地表，其主要成因是原生石灰岩在

高濃度硫化氫（ H_2S ）與持續熱液作用下產生的交代與變質反應。。這類白化石灰岩常扮演天然地熱系統中的蓋層（cap layer）角色，能有效封存下伏的熱液與蒸氣，是理解地熱儲集與構造控制機制的關鍵地層指標。

在高溫與強烈化學環境中，岩石表層的礦物如碧玉、方解石等會失色、溶解，轉化為石膏、氧化鐵或其他次生礦物，使岩石產生明顯色彩變異與組成改變。因此園區內常可見白色石灰岩與氧化成紅色的岩層交錯出現，鮮明的對比不僅成為識別地熱作用強度與熱變質帶的重要地質指標，也呈現了地熱與熱水換質作用持續塑造地貌的過程。

公園內不僅能觀察到深層地熱系統的流體逸出，更能看到表層裂隙中大量升騰的蒸氣、熱泥池沸騰，及活斷層控制下的天然噴氣孔，這種從地下至地表完整暴露的系統，讓 Biancane 成為天然的地熱實驗室。此外，園區中可見 Enel 公司架設的導氣管線，將部分蒸氣導引用於能源或觀測之用，展示人類如何理解與應用地熱能。

長期熱液與硫化物作用使地表植物難以生存，形成如「地獄與仙境交錯」般的奇幻地貌。從高處俯瞰，可見紅色氧化帶順著斷層與裂隙系統延伸，構成完整、廣闊且可追蹤的熱變質與構造活動交互記錄。沿著步道逐漸遠離主斷層控制區後，地熱活動也隨之遞減，蒸氣逸出與氧化岩層分佈逐漸消失，顯示構造對地熱系統的控制效應。



圖 83 國家公園入口處即可見地表裂隙升起大量蒸氣，揭示活躍的地熱活動。



圖 84 白色石灰岩與紅色氧化岩交錯分佈，顯示熱液與硫化物換質作用的影響。



圖 85 高溫泥池呈現地下熱水與火山泥在沸騰狀態下冒泡的現象。



圖 86 園區中地熱開發所設管線，引導裂隙中釋出的蒸氣進行實驗或能源應用。



圖 87 蒸氣大量沿著主要斷層裂隙逸出，反映構造控制與熱流通道的關聯性。



圖 88 自崖頂俯瞰裂隙蒸氣景象，場面壯觀，直觀展現地下熱能的釋放。



圖 89 地質公園中廣泛分佈的白色石灰岩因孔隙率低，常作為天然地熱系統的蓋層（cap rock）。



圖 90 紅色氧化層沿裂隙向上交代於白色石灰岩之上，記錄地熱作用與構造活動耦合歷程。



圖 91 高處遠眺可見連續的紅色熱變質帶沿岩層分佈，為地熱活動的表徵。



圖 92 離開斷層帶後，地熱現象明顯減弱，蒸氣逸出與熱變岩層逐漸消失。

(3) 地熱酪農場 (Podere Paterno)

位於蒙泰羅通多馬里蒂莫的酪農場 Podere Paterno，是一家傳承三代以上的家庭式農場，飼養了超過千隻羊群。酪農場在乳製品生產過程中，善用地熱資源結合太陽能光電，將羊奶製作成種類繁多的起司、冰淇淋等多樣乳製品，追求環境永續。

酪農場生產羊奶起司的各個階段中，都充分利用地熱能，如：在牛奶和起司的生產過程中，從巴氏殺菌到凝乳，甚至是清洗設備，都使用來自附近地熱發電廠的蒸汽。由於農場內販售的商品品質穩定，且其環境永續理念，吸引不少外地客人專程前來。



圖 93 酪農場的羊圈。



圖 94 員工以地熱能供應的設備清洗起司。



圖 95 農場內販售的起司與相關乳製品。



圖 96 工廠中以地熱蒸汽為能源進行殺菌、消毒與凝乳作業。

參、心得及建議事項

一、拓展地熱應用視野，展現全球視野

臺灣位處環太平洋火環帶，擁有豐富的地熱潛能，因此地熱資源也被視為國內邁向淨零排放的重要再生能源之一。藉由本次前往義大利地熱區的參訪，不僅實地觀察了從發電廠、到啤酒廠、溫室、酪農場等多元應用案例，更能直觀地理解地熱資源如何與當地生活、產業、觀光與文化相互融合。這些案例提供了思考臺灣地熱發展方向與潛在應用面向的寶貴參照，啟發了策展團隊的策展視角。

未來將把此行所蒐集案例，結合紐西蘭、冰島、日本等國家在發電、工業、農業、觀光等方面的地熱多元應用案例，在地熱展中展現，啟發觀眾對地熱能運用的想像，引導觀眾從在地知識走向全球視野。

二、豐富展示資源，展示具體具象化

透過此行實地走訪義大利相關地熱區，不僅蒐集了相當多的第一手標本（岩石標本）、展示品（地熱產品）、影像資源（地熱現象與地熱應用影片、照片），同時也了解了世界第一座地熱電廠與地熱博物館、地質博物館與土地與能源博物館等各相關主題館舍的展示手法與地熱主題敘事。未來相關資源與展品將直接應用於特展中，豐富展示資源，提升展示內容多面性。

三、建立國際網絡，深化國際交流

地熱展預定於 2026 年 6 月在國立自然科學博物館首展，結束後巡迴至宜蘭縣立蘭陽博物館與其他館舍，持續推廣、普及地熱教育。展覽除介紹地熱的原理、臺灣發展歷史與現況，也將納入義大利等地的國際案例，並藉由與 ETIP-Geothermal 等歐洲地熱網絡的交流，呈現全球最新趨勢與科技突破，引導觀眾從在地知識走向全球視野。

在策展團隊實際走訪義大利與和他國學術交流的過程中，發現各地地熱社群對於亞洲即將舉辦相關展示也都非常感興趣。過往各國的展示多數針對當地歷史文化而規劃，若能從全球視角規劃相關展示，再於主題單元中帶入在地的獨特性，相信能擴大展覽的視野。後續也將持續與歐洲地熱技術與創新平台、韓國地質學會、紐西蘭商工辦事處等國際相關組織持續交流，引進全球最新的地熱技術與應用案例，並探討未來在展示與教育推廣上的合作可能性，期能透過國際巡迴展，提升臺灣地熱展示的國際視野與能見度。

四、理解地熱與社會互動，打造尊重環境思維

義大利地熱區展現的不只是能源開發，更是一種與自然資源和諧共處的生活態度。無論是保留原始風貌的火山地形、地熱國家公園、將蒸氣導入啤酒釀造的永續實踐，抑或以地熱溫室種植挑別作物如羅勒、地熱起司等精緻農業、酪農產品，皆顯示當地對自然資源的尊重與創新運用。

未來臺灣在發展地熱時，亦應思考如何讓能源與土地、文化、景觀共存，讓

地熱不僅是能源，也是地方認同與生活的一部分。而後續即將舉辦的地熱展，將會是最佳契機，透過展覽，除了讓社會大眾更有系統而清晰地理解地熱科學，更能引導觀眾從案例與展示敘事中，重新思索人與環境的關係。如何在運用資源與保護環境間取得平衡，靠的不只是科技技術，更要從整體社會教育、環境教育基礎做起。

五、促進跨社群對話，邁向地熱共榮

博物館並非政策制定者，但能成為知識傳遞與多元價值對話的平台。本次考察深入理解了義大利地方社群對地熱能的接受與參與機制，也發現民眾參與、企業責任與政府引導三者密不可分，地熱或地球科學科普教育受到國家、企業與地方政府的重視。這樣的模式可作為臺灣未來在宜蘭、花蓮、臺東等地推展地熱借鏡。

作為獨立的機關，博物館不僅能夠透過展覽與活動帶來他山之石的知識共享、網絡串聯，更能夠導入普羅大眾、在地社群、能源產業與學術機構間的聲音，帶動多方對話，促成社會群體共識，進而透過案例的分享與連結，促進跨領域的共學與共創成長。

六、落實行動與反思，展開臺灣地熱敘事

義大利的地熱之行，帶來了豐富的案例與廣闊視野，但更重要的是回頭落實於臺灣。臺灣的地熱故事正在開展中，策展團隊預計將走訪宜蘭、臺東等正積極發展地熱的區域，進行地質考察、社群訪談與資料整合，試圖構築從地層到生活的連結脈絡。未來也將藉由國內外案例對照與展覽設計，引導觀眾思考地熱能如何影響我們的生活，如何參與、選擇並實踐與地熱共存的生活模式，展開屬於臺灣的地熱敘事。