

2019 年 11 月義大利威尼斯洪災事件探討

蔡佳穎¹、朱崇銳¹、傅鑣漩¹、林冠伶²、張志新¹

¹ 國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

² 國家災害防救科技中心 氣象組

摘要

義大利著名旅遊城市威尼斯(Venice)，位於義大利半島東北部緊鄰亞得里亞海，因獨特建築在潟湖上的水上城市及特殊的地理位置使其獲得「水都」的封號。

「水都」威尼斯於 2019 年 11 月 12 日晚間歷經了本世紀以來最嚴重的水災，淹水水深高達 1.87 公尺，為當地歷史淹水紀錄中第二高水位(淹水紀錄最高水位為 1966 年的 1.94 公尺)，根據威尼斯市歷史統計數據，整座城市約有超過 85%的地區淹水，並造成 2 人死亡，同時也使得當地許多熱門景點與歷史古蹟因淹水造成嚴重損壞。

本文以氣象水文、暴潮分析綜合洪災發生的原因來探討淹水發生的原因，並由衛星影像了解淹水的範圍及造成的災害衝擊，另外再由政府的應變作為、暴潮預警系統來探討本次洪災的特性並做為臺灣災害防救借鏡。

一、 災害概述

義大利自 11 月 12 日晚間 22 時 50 分之後，受到義大利半島西側的第勒尼安海(Tyrrhenian Sea)上，有異常強烈的地中海颶風¹影響以及適逢漲潮時期，兩者結合成高水位，導致威尼斯遭遇嚴重洪災，淹水水位高達 1.87 公尺，創下 1923 年有紀錄以來的史上第二高，僅次於 1966 年的 1.94 公尺，如圖 1，水位在高峰過後水勢卻沒有就此消退，在後續一週內，水位又三度升高，分別於 11 月 15 日、11 月 17 日以及 11 月 24 日淹水深度再次分別升高至 1.54 公尺、1.50 公尺以及 1.30 公尺，威尼斯的極端水災，使義大利總理於 11 月 14 日宣布進入「緊急狀態」並撥款 2,000 萬歐元協助威尼斯救援及復原工作。

威尼斯在過去的一個世紀以來因全球暖化危機，淹水現象幾乎成為城市的常態，根據威尼斯政府統計資料表示，本次淹水使威尼斯約超過 85%的面積淹水，共造成 2 人死亡，以及當地多處知名景點古蹟浸水受損，其中以地勢低窪的聖馬可廣場一帶，衝擊最為慘烈。

¹ 地中海颶風 medicanes：

又稱地中海式熱帶氣旋。指位於中緯度的地中海上誕生的一種罕見的風暴。是一種既有溫帶氣旋以及颱風特徵的混合型風暴，其中心具有一個「風眼」，並且有顯著的核心雲團。主要形成於地中海西部和中部，這種風暴在地中海每年大約出現一到兩次，大多發生在下半年。地中海颶風可以在溫度高於 15 攝氏度的水中發展，而熱帶氣旋需要海水溫度至少為 26.5 攝氏度以上。一般而言，大多數 medicanes 的半徑保持 70 到 200 公里（40 到 120 英里），持續 12 小時至 5 天，行徑約 700 到 3,000 公里（430 到 1,860 英里），並具有高達 144 km/h（89 mph）的風速，因此，medicanes 雖然不是颱風，卻會像正常發展的颱風一樣帶來狂風暴雨，甚至誘發部分地方出現肆虐的洪水。

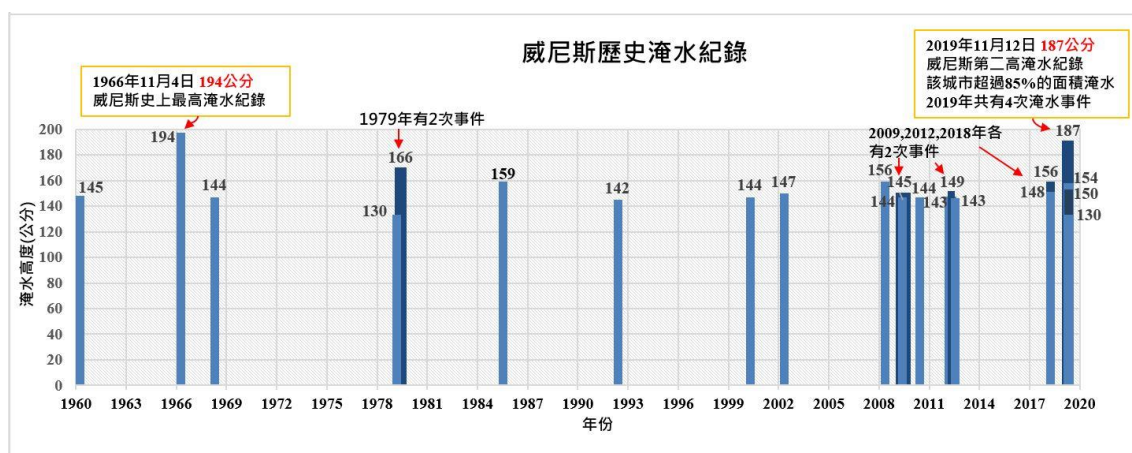


圖 1 義大利威尼斯 2019 年 11 月 12 日淹水達 1.87 公尺，為歷史淹水紀錄的第二高。(資料來源：City of Venice)

二、 災情分析

1. 地理環境簡介

威尼斯是義大利東北部著名的旅遊與工業城市，也是威尼托地區的首府。該市面積為 414.57 平方公里，海拔約 1 公尺。威尼斯城由 118 座小島組成的潟湖城，其間被運河分隔並由橋梁相連。如圖 2 所示，威尼斯城位在威尼斯潟湖的淺灘上，以其優美的環境、建築和藝術品珍藏而聞名。

威尼斯是位於亞得里亞海(Adriatic Sea)北端的威尼斯潟湖內，威尼斯潟湖總面積約 550 平方公里，其中島嶼面積約占 8%，永久水域面積占 11%，其他 80%的面積為灘地，該潟湖是地中海區域內最大的濕地，為多數沙洲、小島、泥灘所組

成的大小島嶼，主島就位於潟湖正中央，威尼斯城就位於其上。整個威尼斯潟湖是由上新世及第四紀之現代沖積物所組成為約 5,000 公尺沉積層，而威尼斯市則由約 1,500 公尺之第四紀砂質及粉土質黏土層組成(Brambati et.al., 2003)，如圖 3。

地形上沙洲和潟湖形成一個封閉的海灣，而星羅棋佈的島嶼，也讓島與島之間形成寬窄不一縱橫交錯的水道。

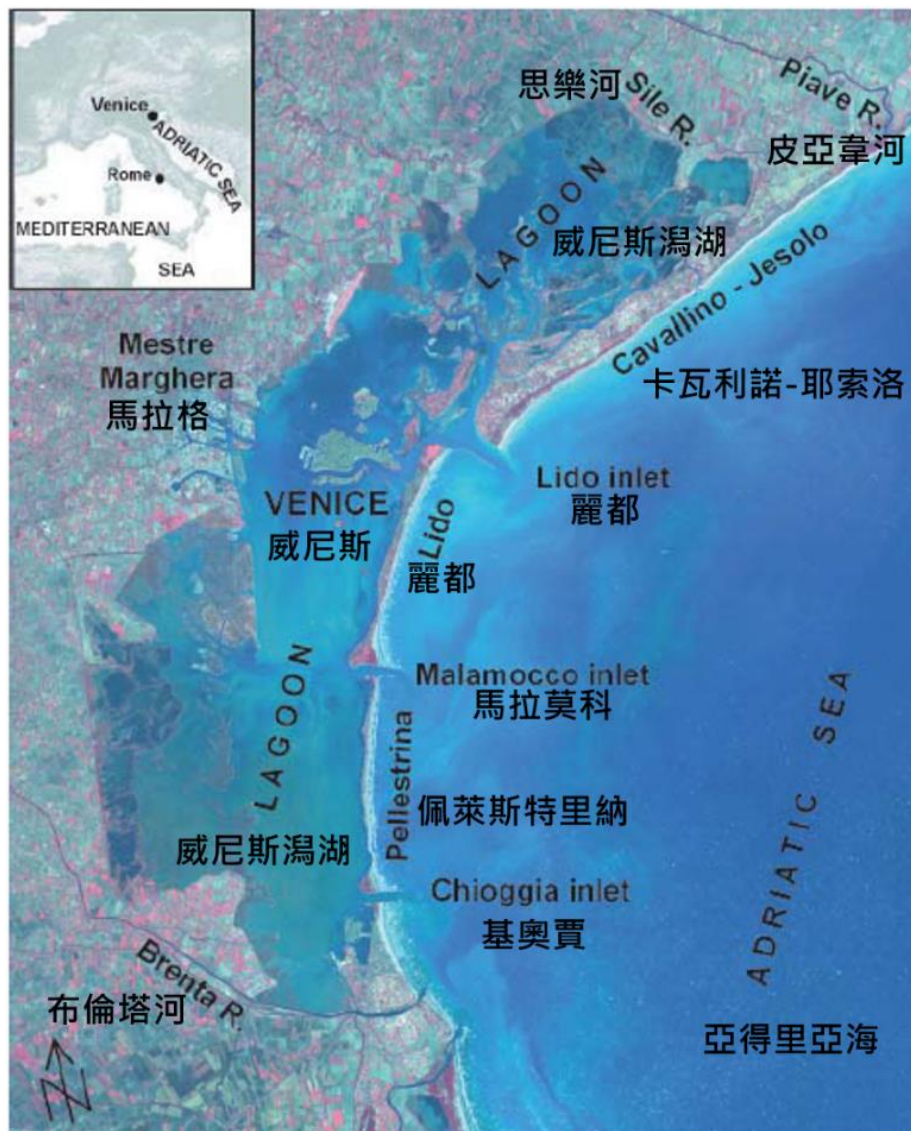


圖 2 威尼斯地理位置圖(圖片來源：Brambati et. al., 2003)

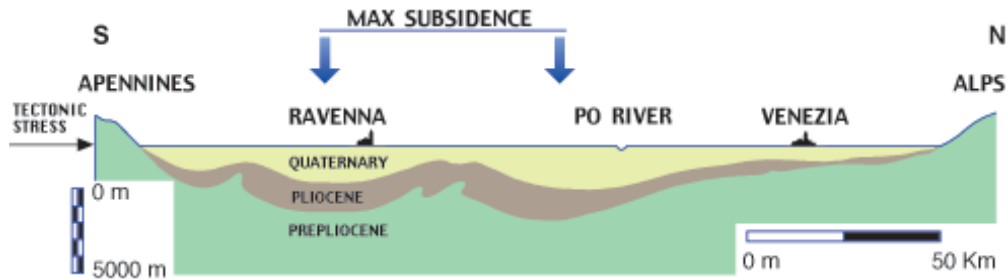


圖 3 威尼斯潟湖地質組成剖面圖(圖片來源：Brambati et. al., 2003)

2. 災因分析

威尼斯政府指出，當地於 11 月 12 日發生嚴重淹水的現象，是綜合多項因素之複合性災害，主因包含盤據於威尼斯上方的地中海颶風所帶來的強勁風勢以及當地適逢漲潮時期，兩者結合成高水位造成本次嚴重的洪災事件，以下將主要致災因素描述說明如下：

(1). 強勁風勢

與義大利半島南方海域的強大的低壓系統有關，其帶來亞得里亞海沿海強勁的風勢所造成的氣象風暴，使這波漲潮特別嚴重。

來自義大利西南沿海有異常強烈的地中海颶風¹(中心壓力為 989mb 的低壓系統)，其圍繞低氣壓的逆時針氣流，造成亞得里亞海周圍的氣流呈逆時針流動，並帶來了超過 30 節(55.56 公里/小時)的強風，如圖 4 中黃色區域。其極為強勁的風勢，與來自北非，一路經過地中海、義大利半島東側的亞得里亞海的東南風，從義大利南方往北吹拂，幾乎平行於亞得里亞海的軸線，共同吹往位於西北的威尼斯潟

湖。在強勁的東南風的推波助瀾下，水流由南向北穿過義大利東海岸平行的亞得里亞海前進並且持續推往威尼斯，並在之後的 22 小時，水流持續在亞得里亞海中來回流動，也就助長了水患肆虐，如圖 5，使得北端的威尼斯，遭受近乎創紀錄的洪水襲擊。形成當地每到秋冬時期即形成常見的異常高潮位「acqua alta」²現象。

威尼斯因這類暴潮因素所造成的淹水災情不斷上演而深受其擾，並且會定期淹沒著名的聖馬可廣場(該市最低區域，僅 64 公分)。

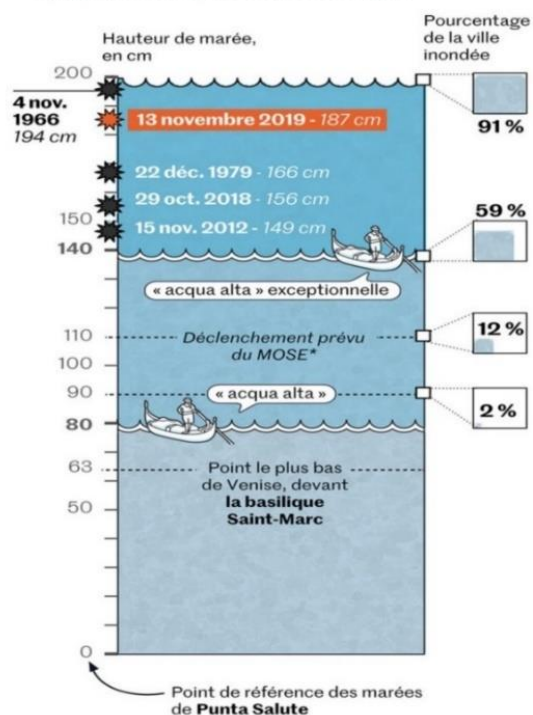


圖 4 2019 年 11 月 12 日(UTC) GFS 模型及 10 公尺風速分析。(資料來源：Trophic Tidbit)

² 「acqua alta」常見於亞得里亞海北部秋季和冬季，為週期性出現的異常潮汐峰值，當週期性出現的季風（沿著亞得里亞海向由南往北吹）加上因潮汐帶來的漲潮水位，阻礙了高水位回流，水位高峰值在威尼斯潟湖達到最高，導致威尼斯出現嚴重的洪災事件。

« Acqua alta » : marée haute, vent et basses pressions, un cocktail débordant

☀ Marée exceptionnelle historique



* Acronyme de Modulo sperimentale elettromeccanico - module expérimental électromécanique, en français

圖 5 威尼斯歷年淹水記錄：2019 年的 1.87 公尺，直逼 1966 年的歷史最高記錄 1.94 公尺。(資料來源：法國世界報)

(2). 潮位分析

威尼斯受當地暴潮影響，是造成本次洪災的主要致災因子之一。

根據英國研究機構 Natural Environment Research Council (NERC) 的潮位資料顯示，如圖 6，威尼斯的潮位在 11 月 12 日 20 時 53 分達到最高 1.826 公尺，異常的潮位是威尼斯平常潮位的 2~3 倍高。

後續幾天，威尼斯潮位高再度於 11 月 15 日的 9 時 32 分達到最大 1.427 公尺、11 月 17 日的 11 時 47 分最大潮位高 1.423 公尺；11 月 24 日的 7 時 07 分最大潮位高 1.240 公尺。

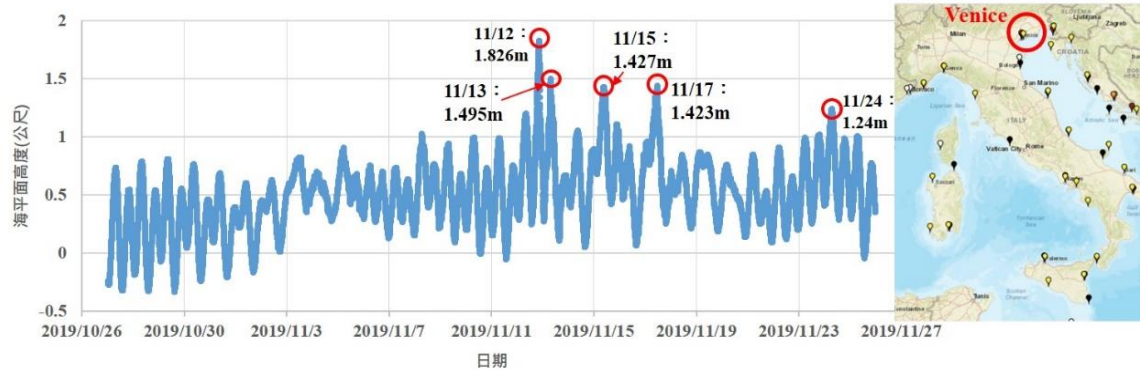


圖 6 威尼斯 2019 年 11 月 12 日至 24 日潮位紀錄(資料來源：NERC)

綜合上述原因，當地出現地中海颶風及正值漲潮期間引發的 acqua alta 暴潮現象是本次威尼斯洪災的主因，讓過去的一個世紀當中已下沉 23 公分，目前平均高度約為 1 公尺左右的威尼斯市(Brambati et al., 2003；Munaretto et. al., 2012)，造成當地淹水。此外，當地長久以來還存在著其他的隱憂，如氣象及降雨因素、地層下陷及海平面上升等是影響本次洪災事件之次要原因，亦間接地影響了本次洪災事件的發生，相關說明如下：

(1). 氣象及降雨因素

威尼斯在經歷洪災期間，其水文降雨資料參考 Weather Online 氣候資料，如圖 7，11 月 12 日當日降雨為 27.6 毫米，圖 8 則顯示威尼斯 11 月的平均月雨量是 89 毫米，所以 11 月 12 日當日的降雨量為 11 月平均雨量的 31%；此外，後續再度發生淹水災情的 11 月 15 日及 17 日降雨量分別為 20 毫米、2 毫米。統計威尼斯發生洪災事件一週內，

累積雨量達 76.6 毫米，為當地 11 月月平均雨量之 86%。若再加上 11 月 24 日降雨量 13 毫米，威尼斯該月的總降雨量則達到 89 毫米。

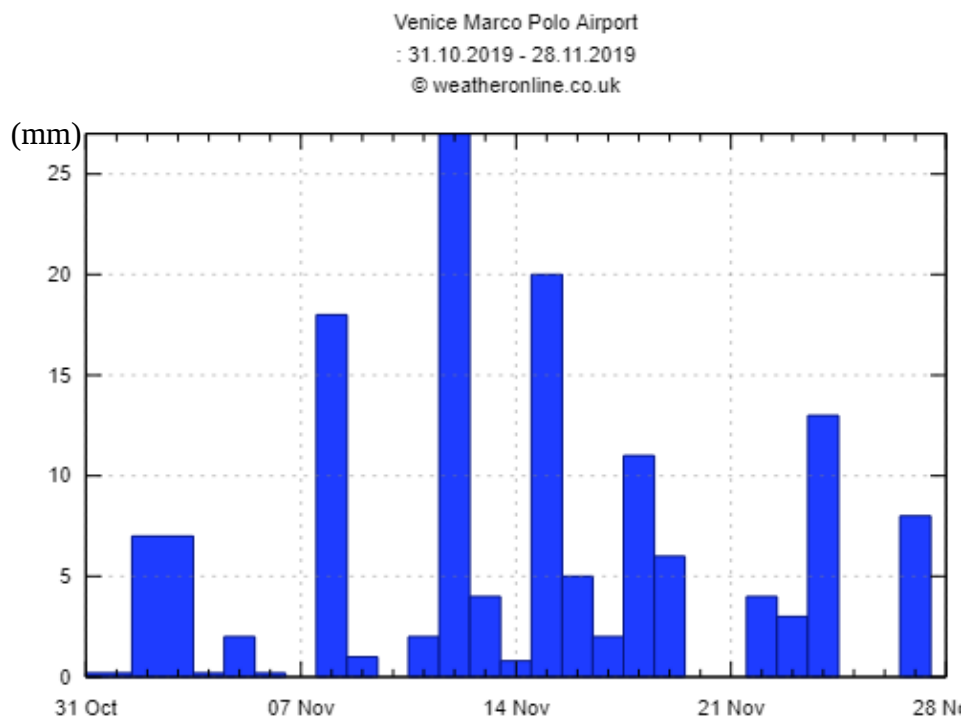


圖 7 2019 年 11 月 12 日義大利威尼斯水災期間之威尼斯雨量站之降雨量
(資料來源：WeatherOnline)

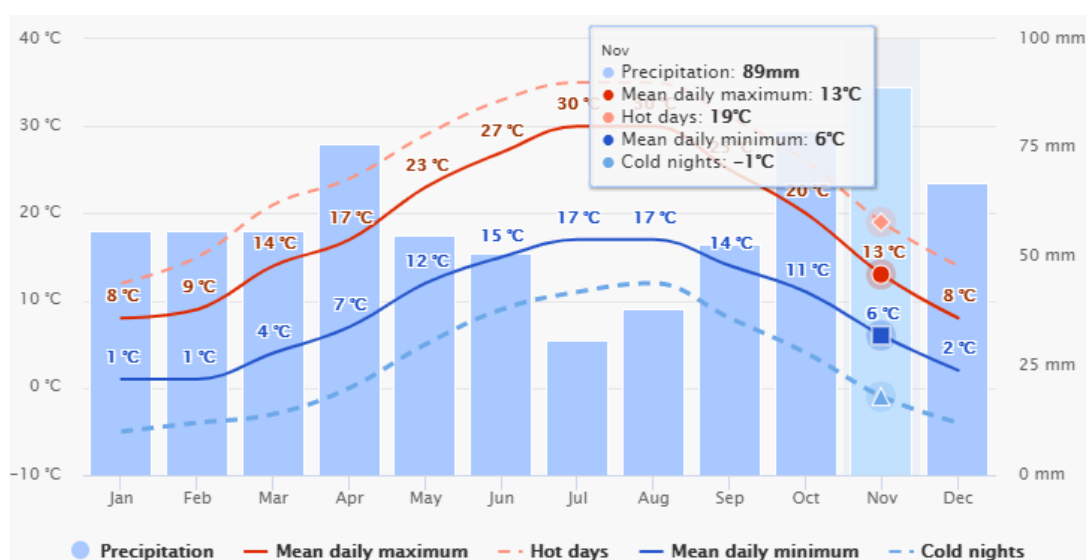


圖 8 義大利威尼斯月平均氣候雨量，11 月平均雨量是 89 毫米。(資料來源：Meteoblue)

(2). 威尼斯地層下陷與海平面上升

威尼斯長久以來皆存在著地層下陷及因氣候變遷所帶來的海平面上升等問題，間接地促成了這次嚴重的洪災事件。

圖 9 為威尼斯平均海平面資料顯示，當地海平面每年以 2.44 毫米的速度上升中，使當地的陸地面積逐漸流失。圖 10 為威尼斯 2009 至 2014 的 GPS 資料，其中顯示陸地逐年以 0.121 公分的速度持續下陷，經由過去的研究數據顯示已造成當地在過去的一個世紀當中，總計約有 23 公分的下沉量(Brambati et. al., 2003；Munaretto et al. 2012)，如圖 11 所示。使得目前平均高度約為 1 公尺左右的威尼斯城(Munaretto et al. 2012)，在 11 月 12 日淹水達 1.87 公尺時，造成當地嚴重淹水的現象。

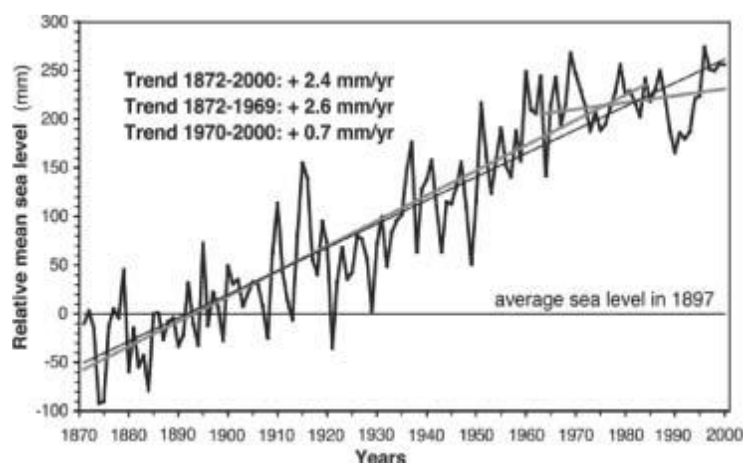


圖 9 威尼斯 1872 至 2000 年的平均海平面資料(Munaretto et al. 2012)

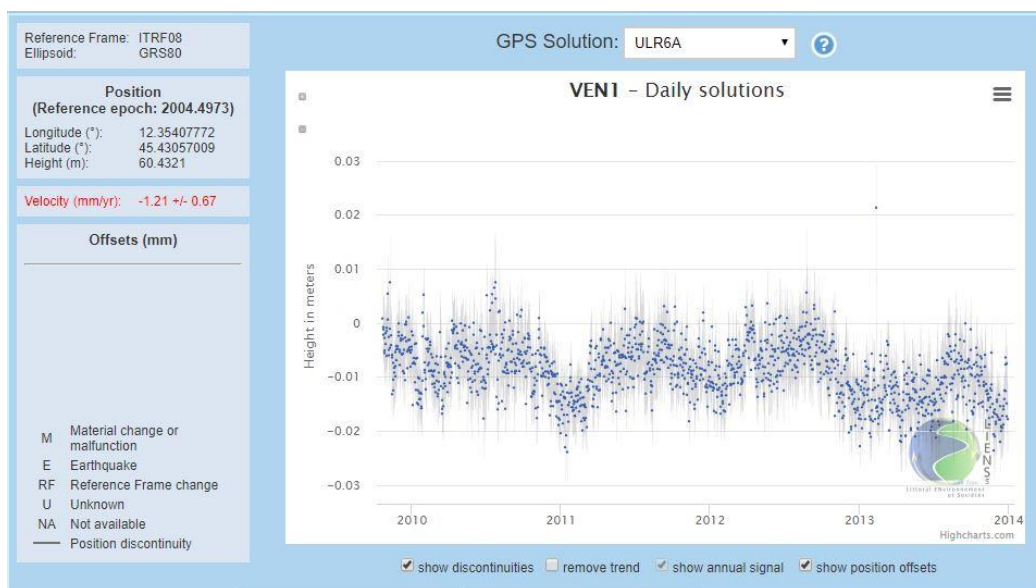
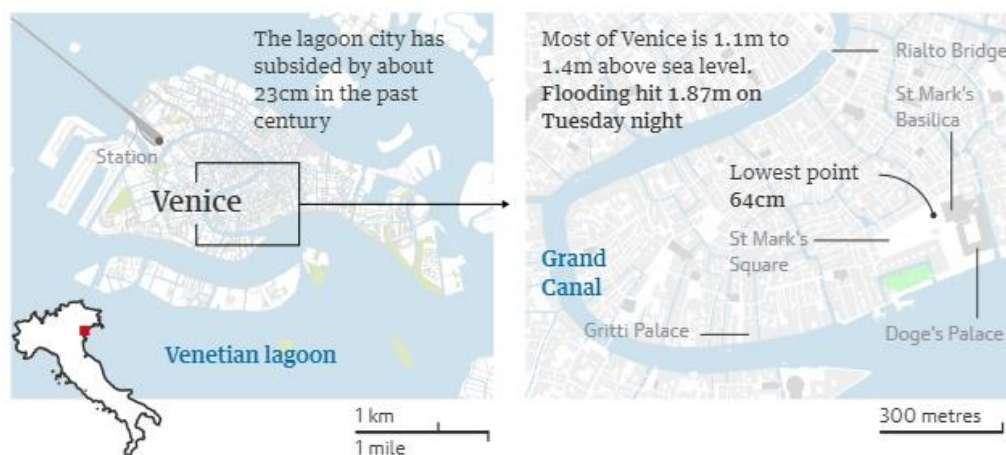


圖 10 依據全球定位系統之威尼斯測站 2009 至 2014 年 GPS 資訊資料顯示，威尼斯陸地逐年以 0.121 公分的速度下沉。(資料來源：
<https://www.sonel.org/spip.php?page=gps&idStation=2271&solCentre=NGL>)

Venice has been flooded by the second-highest tide in its history



Guardian graphic. Source: TurismoVenezia, © OpenStreetMap contributors

圖 11 威尼斯於 11 月 12 日的淹水高度為 1.87 公尺，為淹水紀錄史上第二高。因威尼斯城在過去的一個世紀中已下沉約 23 公分，使得當地最低窪處-聖馬可廣場(僅 64 公分)嚴重淹水。(圖片來源：路透社)

3. 淹水範圍分析

受義大利半島上盤旋的熱帶氣旋、漲潮影響，威尼斯於 11 月 12 日晚間淹水水位達到 1.87 公尺，使威尼斯超過 85% 的區域被洪水淹沒。圖 12 為威尼斯地區 11 月 14 日淹水區域的衛星影像，藍色區域為當地的淹水範圍。

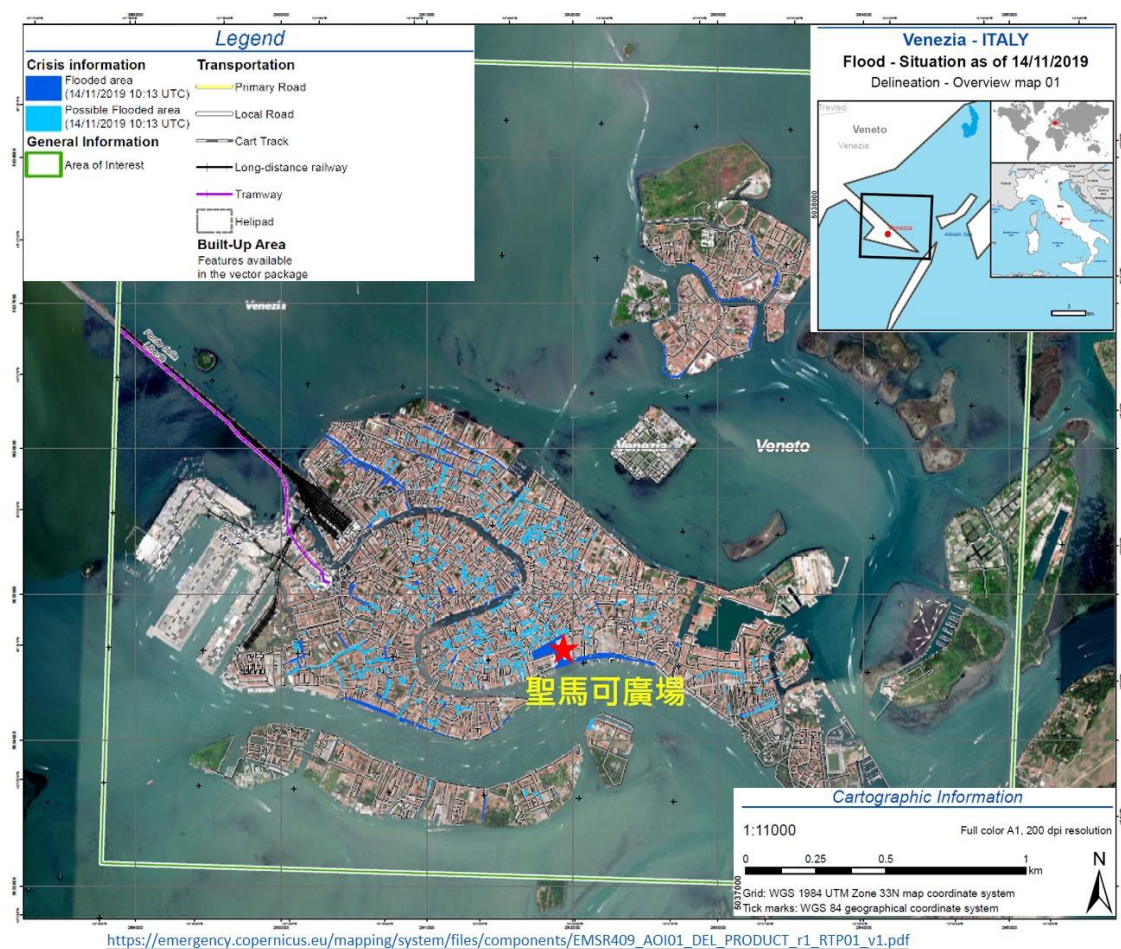


圖 12 威尼斯淹水區域之衛星影像圖(資料來源：EMSR409)

4. 災害衝擊

(1). 歷史古蹟損壞

威尼斯名列「世界文化遺產」的歷史古城，在 11 月 12 日的大潮中，水患已造成許多熱門景點與歷史古蹟嚴重淹水。圖 13 為位於威尼斯城中最低窪處-聖馬可廣場(St Mark's Square)一帶(地勢僅 64 公分)，影響較為嚴重；圖 14 為世界著名的歌劇院-鳳凰劇院淹水受災情形。

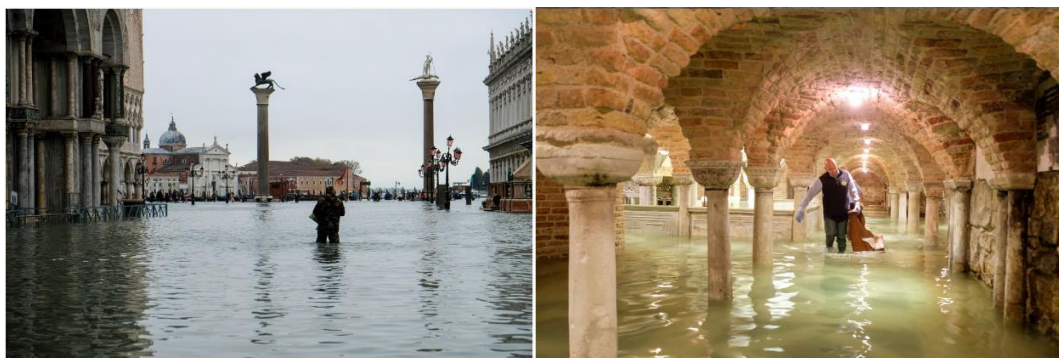


圖 13 地勢低窪的聖馬可廣場及聖馬可大教堂嚴重淹水(圖片來源：路透社)



圖 14 鳳凰劇院淹水前後照片比對。(圖片來源：路透社)

(2). 威尼斯周邊衝擊

I. 威尼斯政府發布 acqua alta 紅色警戒

II. 佩萊斯特里納島：造成兩人死亡

威尼斯市因位於潟湖內的環境中，當潟湖內的城市因本次嚴重淹水而重挫時，其外圍的沙洲區域亦同時遭受到地中海的颶風及漲潮的雙重影響而引發嚴重的淹水，如圖 15，威尼斯外圍沙洲出現約 1 公尺高的暴潮，當地政府亦發出了 acqua alta 的紅色警戒向民眾示警。此外，在潟湖外圍最南端沙洲-佩萊斯特里納島，更因為這次的洪災事件而造成兩人死亡。

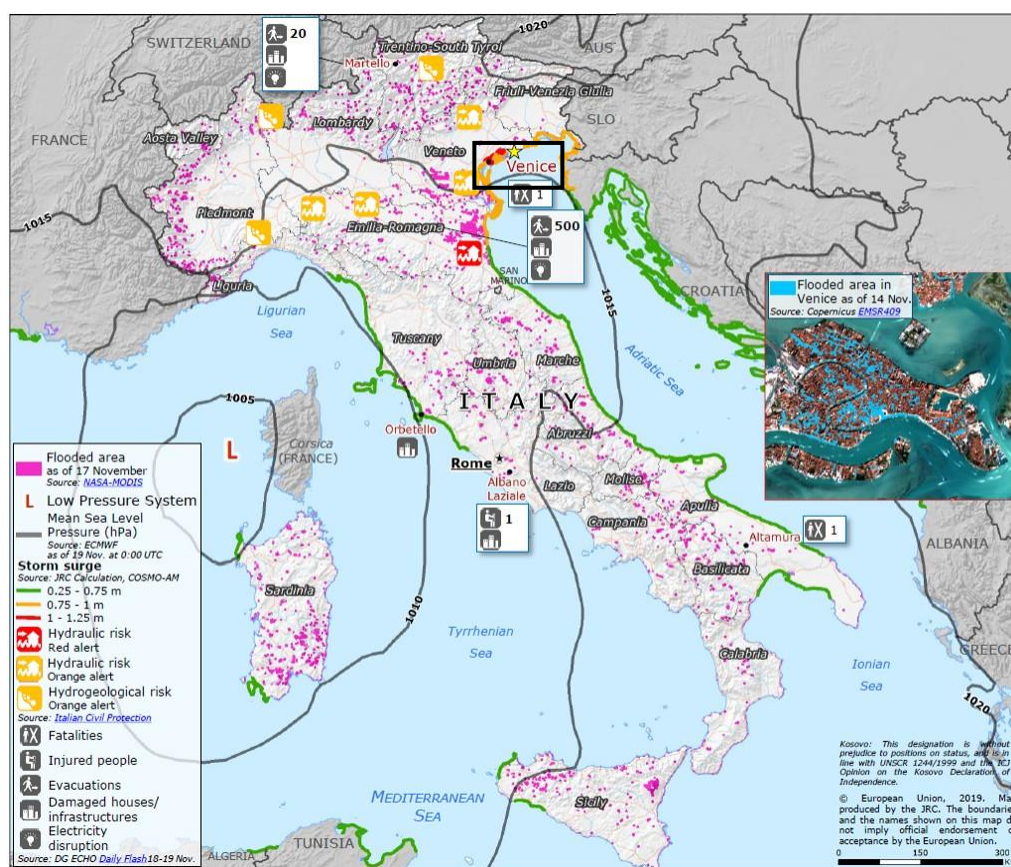


圖 15 義大利全境淹水災情圖，圖中黑框處為威尼斯潟湖。(資料來源：ERCC)

三、 政府應變處置

1. acqua alta 異常潮位洪水預報

為了因應頻繁的淹水事件對當地居民造成的不便，威尼斯政府建立一套漲潮預警系統。當 acqua alta 異常潮位發生時，提供給當地居民漲潮警報，利用警報系統發出聲響並由擴音系統傳播出去向民眾示警，可在 acqua alta 發生前 4~6 天提出預報。

當威尼斯內陸水位升高至異常潮位警戒值時，當地政府發布 acqua alta 的警戒代碼及警報聲，說明如下：

(1). acqua alta 異常潮位發生前之警戒值：

潮汐：0.8m~1.1m 之間	高水平	黃色警告代碼
潮汐：1.1m~1.4m 之間	很高水平	橙色警告代碼
潮汐：超過 1.4m	超高水平	紅色警告代碼

(2). 當 acqua alta 發生時，根據異常潮位的高低，可分為四

個級別發出不同聲響，如圖 16，向民眾提出警告：

- 異常潮位高 1.1 公尺：一長聲響
- 異常潮位高 1.2 公尺：二次漸強聲響
- 異常潮位高 1.3 公尺：三次漸強聲響
- 異常潮位高 1.4 公尺：四次漸強聲響

以圖 17 及圖 18 為例，本次淹水事件中，威尼斯政府潮汐預報中心預測 11 月 15 日 11 時 20 分以及 11 月 17 日 12 時 30 分，潮位將升

高達 1.6 公尺時，威尼斯政府發布 acqua alta 紅色警告代碼及四次漸強警報聲，向居民提出警告。

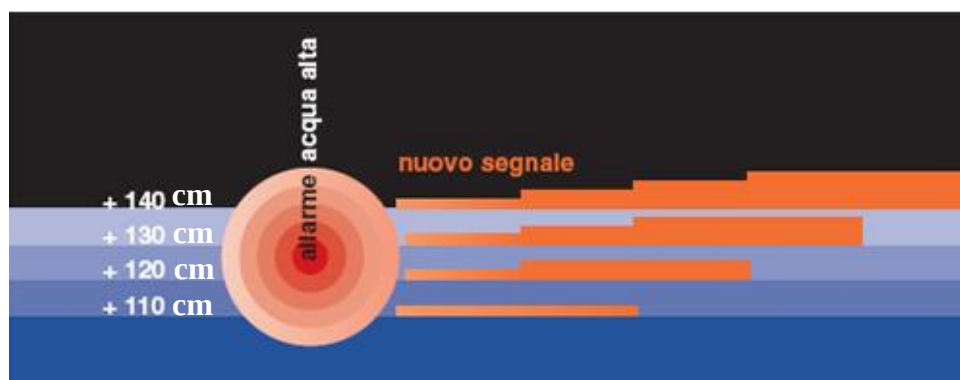


圖 16 acqua alta 警報聲信號的圖形表示。(資料來源：
<https://www.comune.venezia.it/it/content/le-sirene-allertamento-approfondimento>)



圖 17 義大利威尼斯政府預報 11 月 15 日潮汐水位為 1.6 公尺。(資料來源：
<https://www.comune.venezia.it/>)



圖 18 義大利威尼斯政府預報 11 月 17 日潮汐水位為 1.6 公尺。(資料來源：
<https://www.comune.venezia.it/>)

2. 水利防洪工程-摩西計畫

(1). 計畫背景與概念：

威尼斯因潮汐的關係，每年要遭受 100 多次洪水侵襲，為降低洪災事件，以保護威尼斯，義大利政府早於 2003 年 1 月啟動建造費達 45 億歐元（約 1798 億新台幣）的水利防洪工程-摩西計畫，預計修建活動水閘攔阻海潮，然而因工程延宕需至 2021 年完工。

(2). 摩西計畫修建優勢

威尼斯市具有優良的地理條件，位於潟湖內部，其外有沙洲作為天然屏障，有效阻擋颱風暴潮的直接侵襲，使其能發展成為世界歷史文化古都。然而，該城位於亞得里亞海西北端新月形潟湖中的特殊地理位置裡，常因地中海颶風所帶來的強勁風勢將漲潮的高水位聚集於潟湖中，使得威尼斯常常發生淹水事件，於是，為了減少淹水發生的頻率，威尼斯政府計畫興建「摩西計畫」，將沙洲中與外海連通的缺口「潮流口」興建活動式閘門，每當漲潮水位異常升高時，即可升起閘門將水流完全阻擋於潟湖之外，不至於漫流至潟湖內影響威尼斯，此外，潮流口通常較為窄小，得利於此一天然地理條件

的優勢，更利於此處興建人工活動式閘門之摩西計畫。

(3). 計畫主體簡介

摩西計畫，如圖 19，計畫主體是在威尼斯潟湖外圍一長串狹長島嶼的三個出海口處，建造巨大的自動水閘門，平時閘門灌滿海水，平躺在海床上，當水位上升超過 100 公分時就會啟動活動式閘門的時候就打入空氣，讓閘門浮出水面，阻擋大浪進入威尼斯。當潮水退去不再構成威脅時，閘門再次回到底部。



圖 19 摩西計畫屏障細部圖

(資料來源：<http://old.ltn.com.tw/2005/new/oct/1/today-int2.htm>)

3. 威尼斯政府作為

因應極端漲潮，威尼斯 11 月 12 日全區已一連停課 3 日，水上公車停擺；14 日義大利總理孔蒂(Giuseppe Conte)在前往威尼斯勘災後，宣布進入「緊急狀態」，啟動金援紓困水都。義大利內閣金援威尼斯 2,000 萬歐元(約新台幣 6.8 億元)，協助後續救援與復原工作。

4. 旅遊補助

住房受到影響的居民都可以領到最多 5,000 歐元(約新台幣 17 萬元)的政府補助，餐館和商店最多可領到 2 萬歐元(約新台幣 68 萬元)。

四、 結論

威尼斯具有「世界文化遺產」的歷史古城的背景，本次因異常嚴重的洪災事件而造成當地歷史古蹟的損壞，引起了周邊國家的警覺，歷史古文物或觀光相關設施因洪汛災害造成的損壞，是否會造成文化財及觀光財的重大損失。

因應氣候變遷帶來地中海氣候的變化，使地中海上罕見出現的地中海颶風於近年來似乎正在變多，颶風與當地潮汐兩者結合造成威尼斯潟湖近年發生淹水水位高達 1.40 公尺以上之洪水災

害越趨頻繁，2019 年 11 月 12 日更出現史上第二高淹水水位 1.87 公尺之嚴重洪災事件，對當地造成重大災損，因此，世界各國正透過相關公約、政策架構和作業程序，擬定文化資產保護措施以降低災害風險。為文化資產災害風險管理提供了基礎共識和有利的政策環境。因文化資產的保存與其存在之環境特徵有關，如洪水、地震、坡地災害、火災和其他天然災害都可能破壞文化資產。因此規劃災前減災、災害風險評估及制定災害防救計畫、複合型災害應變標準程序納入文化歷史資產的保全及預防工作、以及災害發生後之文化資產重建與復原技術整合工作實為刻不容緩。

參考文獻

1. Venice Has Its Worst Flood in 53 Years , Scientificamerican , 2019/11/14 , <https://blogs.scientificamerican.com/eye-of-the-storm/venice-has-its-worst-flood-in-53-years/>.
2. Brambati, A.; Carbognin, L.; Quaia, T.; Teatini, P. & Tosi, L. (2003). The Lagoon of Venice: geological set-ting, evolution and land subsidence. Episodes. Journal of International Geoscience, 26(3): 264–268.
3. Munaretto, Stefania, Pier Vellinga, and Hilde Tobi. 2012. —Flood Protection in Venice under Conditions of SeaLevel Rise: An Analysis of Institutional and Technical Measures.Coastal Management 40 (Ivm): 355–80. doi:10.1080/08920753.2012.692311. 80. doi:10.1080/08920753.2012.692311
4. <https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/13/waves-in-st-marks-square-as-venice-flooded-highest-tide-in-50-years>

5. <https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-50433284>
6. https://global.udn.com/global_vision/story/8662/4167097
7. <https://www.thenewslens.com/article/127580>
8. <https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/13/waves-in-st-marks-square-as-venice-flooded-highest-tide-in-50-years>
9. <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR409>
10. <https://eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi>
11. Weatheronline : <https://www.weatheronline.co.uk/weather/maps/city>
12. GPS-SONEL :
<https://www.sonel.org/spip.php?page=gps&idStation=2271&solCentre=NGL>
13. 全球海平面監測網 :
<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=VE19>
14. Meteoblue :
https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/venice_italy_3164603
15. <http://old.ltn.com.tw/2005/new/oct/1/today-int2.htm>
16. Trophic Tidbit :
https://www.tropicaltidbits.com/analysis/models/?model=gfs®ion=eu&pkg=mslp_wind&runtime=2019120418&fh=234
17. <https://www.visit-venice-italy.com/acqua-alta-venice-italy.htm>