



FOTOSETTE S.r.l.

FOTOSETTE S.R.L. - PIAZZA VITTORIO VENETO 12 - 10123 To - REA TORINO 1112334 - C.F./P. IVA 10185810016

**PROGETTO FINALIZZATO ALLA REALIZZAZIONE
DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO NEL
TERRITORIO DEL COMUNE DI GINOSA (TA).**

**RELAZIONE SPECIALISTICA: STIMA DEL RISCHIO
IDRAULICO**

COMUNE DI : GINOSA (TA)
LOCALITÀ : PERRONE
NOME SITO : PERRONE
COMMITTENTE : FOTOSETTE S.R.L.



R. P. R. ENGINEERING SOC. COOP.

SEDE LEGALE: 72012 CAROVIGNO (BR) VIA G. BRAICO, 3 TEL. / FAX 0831992571 E-MAIL: RPRSTUDIO1@TIN.IT C.F./P. IVA 01898510746

SEDI OPERATIVE : 71121 FOGGIA (FG) VIA G. CATALANO, 9 TEL. / FAX 0881772530, 70057 BARI - PALESE VIA G. PRIOLO, 78 TEL./FAX 0805306994

RELAZIONE SPECIALISTICA : STIMA DEL RISCHIO IDRAULICO

Comune : Ginosa (TA)
Località: Perrone
Nome sito: Perrone
Committente: Fotosette S.r.l.

INDICE

OBIETTIVI

SCELTA DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO CRITICO

METODO PER LA RAPPRESENTAZIONE DELLA COMPONENTE DI INFILTRAZIONE VERTICALE NEL SUOLO

MODELLO IDRAULICO ADOTTATO

DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

RAPPRESENTAZIONE DELLE STRADE

CANALI

EDIFICI

DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI IDRAULICHE E DEGLI ALTRI PARAMETRI

CONDIZIONI DI NON ATTRAVERSAMENTO

CONDIZIONI DI INFLOW

CONDIZIONI DI OUTFLOW

ALTRI PARAMETRI

RISULTATI DELLA SIMULAZIONE NUMERICA

INTERVENTI

OBIETTIVI

Lo scopo di questo paragrafo è la stima analitica del rischio idraulico. Per rischio idraulico si intenderà in questo contesto il rischio di alluvionamento dato dal deflusso superficiale non regimato conseguente ad un evento pluviometrico critico di fissato tempo di ritorno.

La stima del rischio idraulico è stata valutata mediante l'implementazione di un modello numerico bidimensionale di deflusso superficiale per la simulazione del deflusso superficiale causato da un evento pluviometrico estremo. La variabile target è la massima altezza idrometrica prodotta su ogni cella elementare in cui è stato suddiviso il dominio spaziale di riferimento.

Considerando le caratteristiche topografiche e pedologiche dell'area in esame, è indispensabile utilizzare, affianco ad un modello di propagazione del deflusso superficiale prodotto, anche un modello per la corretta rappresentazione del processo di infiltrazione verticale nel suolo in quanto essa può essere una perdita rilevante e quindi può diminuire in maniera sostanziale il livello idrometrico producibile dall'evento pluviometrico.

Nei seguenti paragrafi saranno quindi descritte le metodologie adottate per:

- la scelta dell'evento pluviometrico critico
- il metodo per la rappresentazione dell'infiltrazione nel suolo
- il modello idraulico bidimensionale per la propagazione del deflusso orizzontale

SCELTA DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO CRITICO

La definizione dell'evento pluviometrico è il dato fondamentale dal quale è possibile stimare data la geomorfologia e la pedologia del territorio, la propagazione del deflusso superficiale. Per definire l'evento di precipitazione è necessario:

- stabilire la probabilità (ovvero il tempo di ritorno) dell'evento
- calcolare la durata e l'intensità dell'evento pluviometrico
- stabilire la forma dello ietogramma critico

Date le caratteristiche costruttive ed economiche dell'impianto e la sua prevista durata, si è scelto un tempo di ritorno di 25 anni.

Per poter calcolare l'intensità e la durata dell'evento è necessario riferirsi alle curve di probabilità pluviometrica ovvero alle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (LSPP) tipiche dell'area geografica presa in considerazione che mettono in funzione la intensità della precipitazione con la durata dell'evento al cambiare del tempo di ritorno.

Per il calcolo della intensità è possibile usare l'espressione delle LSPP:

$$i = a \cdot d^{n-1}$$

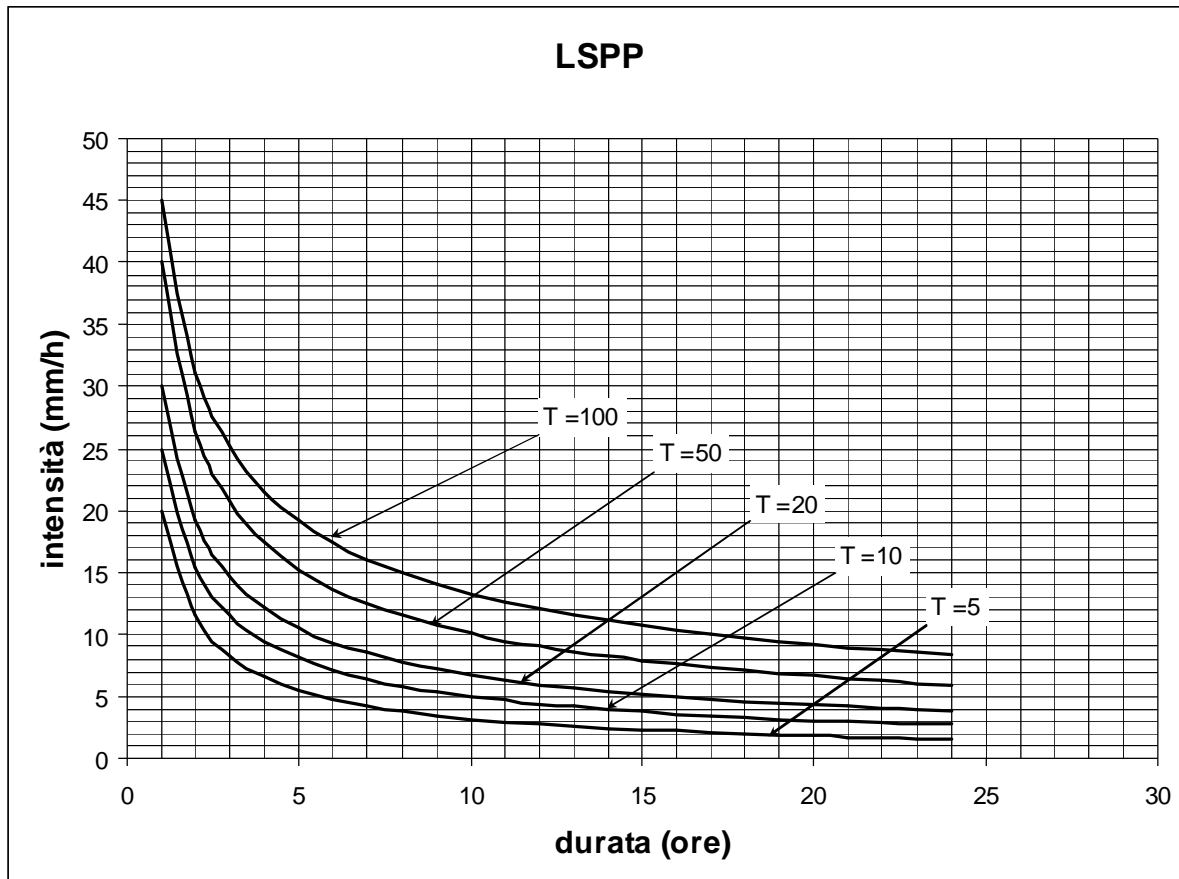


Figura – Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica

Con parametri della curva a e n , e con durata d . I parametri della curva adottati sono quelli risultati dallo studio "Eventi di precipitazione di breve durata ed alta intensità" del progetto VAPI del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa della Catastrofi Idrogeologiche). Con i parametri riferiti alla zona centro occidentale della Puglia è possibile calcolare la massima intensità per uno ietogramma rettangolare. E' necessario però stimare anche la durata critica dell'evento cioè quella che potrebbe mettere in crisi l'impianto considerando il tempo di accumulo del deflusso. Normalmente per la stima della durata critica si adottano dei criteri geomorfologici che danno il computo del tempo di corrivazione per l'area imbrifera a monte della zona sotto studio. Considerando le caratteristiche topografiche si è valutato che questo criterio non risponde alle condizioni di maggiore criticità perchè le pendenze dell'area imbrifera sono molto basse e si

arriverebbe a tempi di corrivazione troppo elevati. E' stata quindi stimata in 1 ora la durata critica dell'evento, considerando anche la limitata estensione dell'area in esame. Secondo le LSPP di riferimento l'intensità critica dell'evento è di 25 mm/h relativamente alla durata di 1 ora. Tuttavia è possibile dimostrare che la forma dello ietogramma critico per questa zona non è rettangolare bensì triangolare, in quanto bisogna considerare le caratteristiche idro-pedologiche dei suoli che presenta una funzione di infiltrabilità massima all'inizio dell'evento. Questo significa che lo ietogramma rettangolare presenterebbe una grossa perdita per infiltrazione all'inizio dell'evento. D'altra parte è meglio non adottare una distribuzione triangolare con il picco alla fine dell'evento perchè essa non rappresenterebbe la situazione più critiche per condizioni geomorfologiche di bassa pendenza. La distribuzione temporale della precipitazione più critica risulta quindi quella triangolare isometrica. In questa maniera la punta di intensità pluviometrica massima sarà di 50 mm/h, la durata dello ietogramma è di 60 minuti e la distribuzione risultante è rappresentata nella figura sottostante.

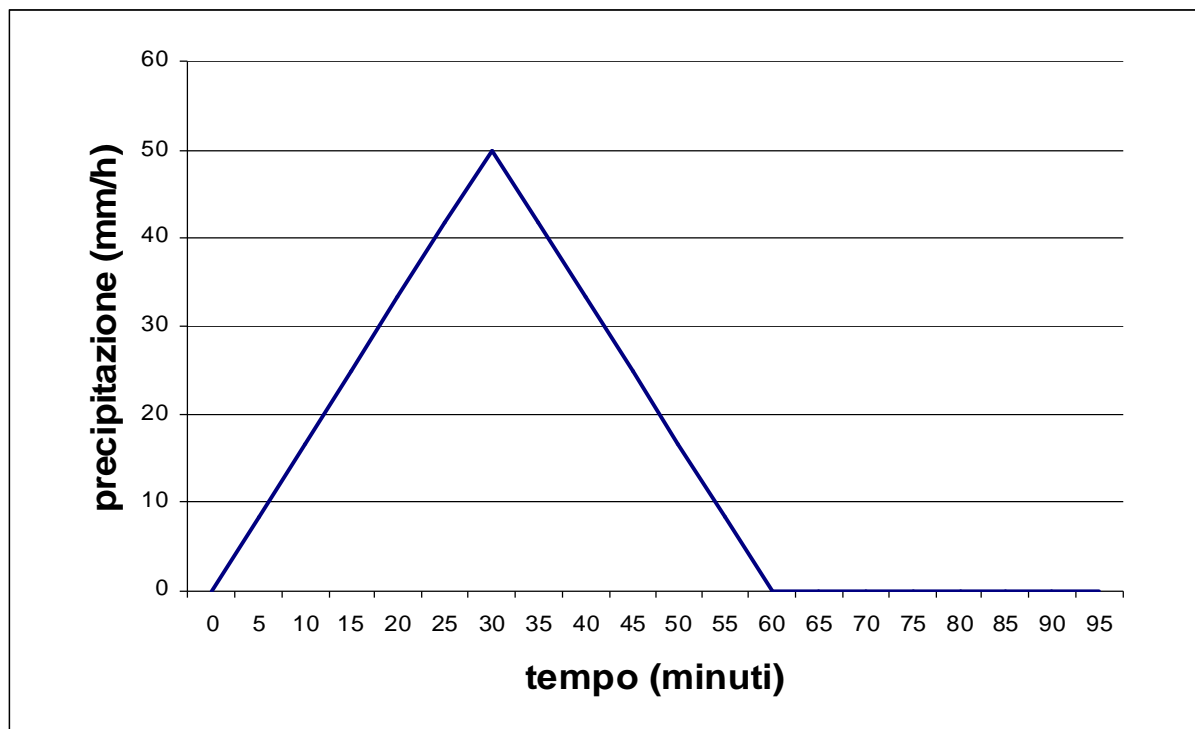


Figura – Ietogramma per l'evento pluviometrico estremo per l'area dell'impianto fotovoltaico

METODO PER LA RAPPRESENTAZIONE DELLA COMPONENTE DI INFILTRAZIONE VERTICALE NEL SUOLO

L'infiltrazione è il processo attraverso cui l'acqua dalla superficie entra nel terreno per forza gravitazionale e capillare. Il tasso di infiltrazione definisce la quantità di acqua che rimane sulla superficie e quanta ne penetra nel suolo ed è influenzata dalle caratteristiche fisiche del terreno, dal suo contenuto di acqua e dalla sua temperatura, nonché dall'intensità delle piogge.

Per lo scopo del presente lavoro, è fondamentale rappresentare le perdite per infiltrazione in quanto esse influiscono sostanzialmente nella corretta riproduzione dell'altezza idrometrica d'acqua sulla superficie.

Per il calcolo dell'infiltrazione esistono dei modelli semplificati che prescindono dalla risoluzione dell'equazione di Richards, che è l'equazione che rappresenta in maniera fisica e completa la variazione del grado di saturazione d'acqua del suolo e quindi anche la capacità di assorbire altra acqua dalla superficie.

I modelli semplificati più noti sono quelli di Horton, di Philip e di Green-Ampt. Essi rappresentano l'infiltrabilità ossia il valore di infiltrazione potenziale che dovrebbe essere confrontato con l'intensità di precipitazione per conoscere quanta acqua si infiltra.

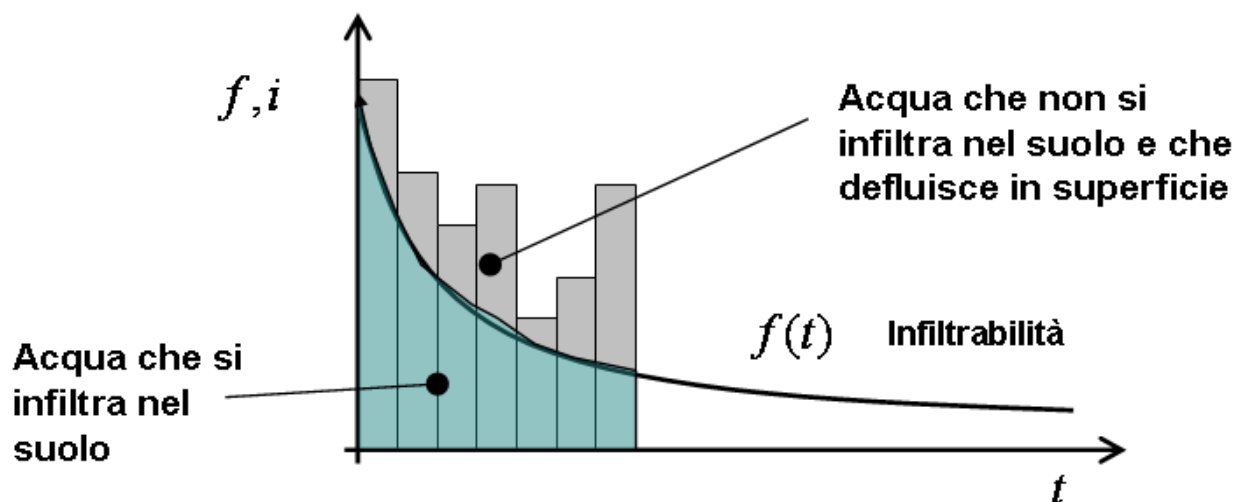


Figura – Rappresentazione del limite di infiitabilità relativamente all'intensità dell'evento di pioggia

Per il tipo di suolo preso in esame il modello che meglio si adatta alle caratteristiche perdologiche è il modello di Philip. Il modello di Philip offre una rappresentazione analitica approssimata basata su una descrizione fisica esatta del fenomeno. L'infiltrazione viene

approssimata interpolando una serie infinita di valori ottenuti da un'equazione differenziale. Nell'equazione compaiono la conduttività idraulica (K_s) e una grandezza denominata sortività (S) che è funzione del potenziale di suzione. L'infiltrabilità viene ottenuta differenziando l'infiltrazione. Infatti le equazioni di riferimento sono:

$$F(t) = St^{1/2} + k_s t$$

$$f(t) = \frac{1}{2} St^{-1/2} + k_s$$

indicando con k_s la conduttività idraulica a saturazione.

Volendo dare una rappresentazione grafica ai termini F e f nel tempo si può fare riferimento alla figura sottostante.

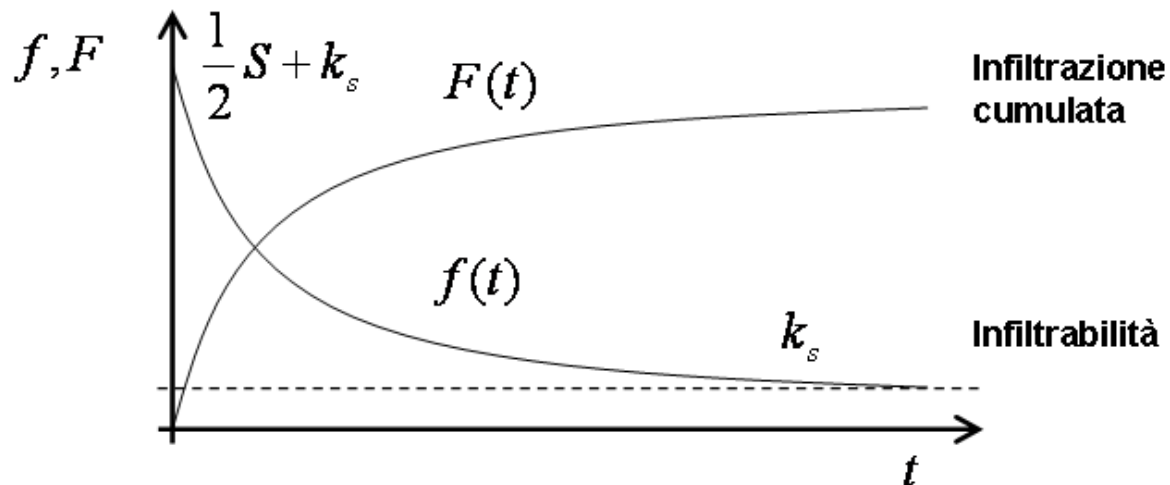


Figura – Andamento dell'infiltrabilità e dell'infiltrazione cumulata secondo il modello di Philip.

MODELLO IDRAULICO ADOTTATO

Il modello utilizzato per la simulazione è FLO-2D, un modello commerciale distribuito dalla FLO-2D Inc. che rappresenta un punto di riferimento nell'ambito dei software per la modellazione bidimensionale, essendo accreditata presso la FEMA e la Corps Engineers tra i modelli idraulici per gli studi idraulici dei fiumi e dei fenomeni di inondazione. È un modello basato su processi fisici in grado di combinare gli aspetti idrologici (quantità di pioggia, ruscellamento, infiltrazione, etc.) con aspetti idraulici (effetti delle strade, degli edifici e di ostruzioni in genere sul flusso, variazione della velocità del flusso tra due elementi di calcolo), al fine di delineare il rischio da inondazione ed assistere nella scelta dei processi di mitigazione di questo ultimo. Pertanto si presta sia a simulazione monodimensionali, come ad esempio canali con una geometria naturale o con sezioni schematizzate (rettangolari o trapezoidali), sia alla simulazione di un flusso non confinato in una piana inondabile, sia la modellazione dell'impatto dell'inondazione sugli edifici in base a parametri fisici come pressione e velocità. Tutto ciò è reso possibile grazie allo schema di calcolo del flusso non confinato in otto direzioni con la conservazione di massa, utilizzando un passo tempo variabile che può aumentare o diminuire a seconda delle necessità, ricorrendo ad efficienti criteri di stabilità con la possibilità di avere un numero illimitato di elementi calcolo.

FLO-2D è un modello basato sulla semplice conservazione dei volumi, in cui i flussi di acqua sul dominio di calcolo sono controllati dalla topografia e dai fattori di resistenza alla propagazione.

La modellazione bidimensionale si realizza attraverso un'integrazione numerica delle equazioni del moto e con la conservazione dei volumi, sia per fenomeni alluvionali che per flussi di sedimenti iperconcentrati. Le equazioni che governano questi processi sono l'equazione di continuità e l'equazione del moto nella forma completa includendo anche il termine dell'accelerazione:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} = i$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x}$$

Dove h è la profondità del flusso e V_x è la componente della velocità media. L'eccesso dell'intensità di pioggia (i) può causare un flusso superficiale diverso da zero. La componente S_{fx} dell'attrito è funzione dalla pendenza ed è ricavata dall'equazione di Manning, mentre S_{ox}

è la pendenza di fondo, e gli altri termini sono il gradiente della pressione ed il termine di accelerazione locale. Le equazioni del moto possono definite come quasi bidimensionali, poiché l'equazione del momento è risolta calcolando la velocità media del flusso in una direzione secondo in un determinato tempo per le componenti al contorno della griglia di calcolo. Esistono otto potenziali direzioni di flusso, le quattro direzioni cardinali più le altre quattro diagonali, ed ogni velocità è essenzialmente calcolata con una natura monodimensionale risolvendo lo schema in maniera indipendente alle altre sette direzioni. La stabilità dello schema numerico esplicito è basata su un criterio specifico per controllare la dimensione del passo temporale. In ogni singola cella della griglia di calcolo sono stoccate le informazioni inerenti la quota, la profondità di flusso, il valore di attrito di Manning (n), le dimensioni della cella e le portate nelle otto possibili direzioni pertanto la zona di flusso è descrivibile come il prodotto della larghezza della cella per la profondità media del flusso.

Con un sistema appropriato di stima delle resistenze al flusso, FLO-2D distribuisce numericamente il volume di liquido in blocchi (quelli della griglia di calcolo), per imitare i fenomeni di propagazione spazio-temporale di un'onda di piena. Concettualmente, FLO-2D non ha un'approccio Lagrangiano al moto del fluido, poiché il movimento di questo ultimo nella griglia di calcolo è unicamente controllato dai criteri di stabilità. Ricorrendo a otto direzioni di flusso si risolve il problema di quei modelli che usano l'approssimazione diffusiva, la quale obbliga il flusso a seguire la massima pendenza anche quando il flusso non ha una propria pendenza e la sua direzione non è allineata con la griglia di calcolo. Questo ultimo problema viene risolto tramite un riallineamento artificiale, che consente di eliminare il problema della perdita dell'accelerazione convettiva. Certamente in un modello con otto direzioni di flusso, la diagonale di flusso può incrociarsi in verso opposto con quella della cella adiacente, ma questo non viola il principio di conservazione del volume. La conservazione del volume è un criterio di stabilità numerica e di accuratezza. I volumi in entrata, quelli in uscita, il cambiamento della capacità di accumulo, di infiltrazione e la perdita per evapotraspirazione, sono sommati alla fine di ogni passo temporale. Il volume conservato si esprime come la differenza totale tra i volumi in entrata, quelli in uscita e quelli persi per evapotraspirazione. L'inserimento di dati errati, fenomeni d'instabilità numerica e tecniche di simulazione inappropriate causano la perdita della conservazione dei volumi; pertanto la conservazione dei volumi può essere usata per discernere quale elemento della modellazione conduce all'instabilità, e più in generale come parametro di bontà della simulazione. È importante sottolineare come in nessuna simulazione la conservazione del volume sia esatta; per valori intorno allo 0.001 per cento o meno sarà sufficientemente accurata.

Lo schema risolutore delle equazioni differenziali della continuità e del momento è quello delle differenze centrali. La soluzione della forma differenziale dell'equazione del momento è il risultato di una sua rappresentazione discreta in un punto. Questo schema numerico è di semplice formulazione, ma presenta l'inconveniente che deve essere limitato da un passo temporale piccolo e da ristretti criteri di stabilità numerica. Infatti lo schema delle differenze finite può richiedere un' elevato tempo di calcolo quando sono simulate onde di sommersione in lenta crescita o canali con sezioni molto variabili. È importante considerare un altro aspetto: le equazioni complete usate da FLO-2D sono equazioni differenziali di secondo ordine non lineari, in cui la velocità viene inizialmente calcolata con un'approssimazione diffusiva usando la pendenza media della superficie dell'acqua. La velocità è successivamente usata nel metodo della tangente di Newton – Raphson per determinare le radici dell'equazione completa. L'equazione di Manning è applicata per calcolare l'attrito dovuto alla pendenza. Se la soluzione di Newton-Raphson fallisce la convergenza dopo tre iterazioni, l'algoritmo passa automaticamente all'utilizzo della soluzione diffusiva.

Volendo riassumere l'algoritmo risolutore include i seguenti passi:

1. il flusso medio, la rugosità, e la pendenza tra due celle vengono calcolati;
2. la profondità di flusso (d) per calcolare la velocità attraverso gli elementi di contorno della griglia di calcolo al passo temporale $i+1$ è stimato al precedente passo temporale i usando una relazione lineare;

$$d_x^{i+1} = d_x^i + d_{x+1}^i \quad 7-2$$

3. la prima stima della velocità è calcolata usando l'approssimazione diffusiva; infatti l'unica variabile non nota in tale semplificazione è la velocità. Questo è il caso per flussi non confinati, per canali e per le strade;
4. il risultato al determinato passo temporale con approssimazione diffusiva è usato nella soluzione di Newton-Raphson per risolvere le equazioni complete ed ottenere la velocità;
5. la portata Q attraverso le celle di contorno è calcolata moltiplicando la velocità per l'area di flusso;
6. l'incremento di portata ad un determinato tempo nelle otto direzioni calcolo, è il risultato della seguente somma

$$\Delta Q_x^{i+1} = Q_n + Q_e + Q_s + Q_w + Q_{ne} + Q_{se} + Q_{sw} + Q_{nw} \quad 7-3$$

ed la variazione di volume (portata netta per il passo temporale) è distribuita sull'area di accumulo disponibile all'interno della griglia per determinare l'aumento della profondità del flusso.

$$\Delta d^{i+1}_x = \Delta Q_x^{i+1} * \Delta t / SurfaceArea$$

7-4

7. I criteri di stabilità numerica sono testati per la nuova griglia della profondità precedentemente calcolata. Se un qualunque criterio di stabilità viene superato, il tempo di simulazione viene azzerato e riportato al precedente passo temporale, il passo viene ridotto e tutti i calcoli sono cancellati e si riprende dal calcolo della velocità;

8. La simulazione procede con l'aumento del passo temporale fino a che i criteri di stabilità sono superati.

Per quanto concerne i criteri di stabilità numerica, FLO-2D garantisce la stabilità con passo temporale sufficientemente piccolo. La chiave per una modellazione funzionale alle differenze finite sono i criteri di stabilità numerica, che sono condizionati dal rapporto tra la variazione di volume degli elementi della griglia e il passo temporale in base alla relazione:

$$\Delta V / \Delta t \sim 0$$

Inoltre un brusco aumento delle portate in ingresso su una griglia di calcolo con elementi molto piccoli può produrre una forte instabilità. La stabilità numerica viene controllata per ogni elemento della griglia ad ogni intervallo temporale per assicurare la stabilità della soluzione. Se i criteri di stabilità numerica sono superati, il passo temporale diminuisce e tutti i calcoli idraulici precedenti sono cancellati. Esistono tre metodi per i criteri di stabilità numerica:

1. Specificare la percentuale di variazione della profondità dal precedente passo temporale;

2. CFL (Courant-Friedrich-Lewy), mette in relazione la celerità dell'onda di sommersione con la suddivisione temporale e spaziale. L'interpretazione fisica del CFL asserisce che una particella del fluido non deve compiere un percorso superiore all'incremento spaziale Δx in un passo temporale Δt (Fletcher, 1990). FLO-2D usa le condizioni CFL per le piane inondabili, i canali e le strade. Il passo temporale può essere limitato secondo la relazione:

$$\Delta t = C * \Delta x / (v+c)$$

dove C è il numero di Courant ($C \leq 1.0$), Δx è la dimensione dell'elemento della griglia, v è la velocità media calcolata lungo la sezione trasversale, c è la celerità calcolata dell'onda;

3. Dynamic Wave Stability Criteria, sviluppato da Ponce e Theurer (1982). Questo criterio è funzione della pendenza di fondo, delle portate e delle dimensioni degli elementi della griglia. Infatti in base alla seguente relazione:

$$\Delta t < \zeta^* \Delta x^2 / q_0$$

Dove q_0 è la portata unitaria, S_0 è la pendenza di fondo e z è un coefficiente empirico con valori compresi tra 0.10 e 1.0

Gli effetti di una possibile instabilità numerica si manifestano con elevati valori di velocità e livelli degli idrometrici in uscita molto elevati. Come si può notare il fattore fondamentale è quello del passo temporale che generalmente si colloca in un intervallo di valori tra 0.1 secondi e 30 secondi. Il modello inizia la sua simulazione con un passo temporale minimo, cioè uguale ad 1 secondo e aumenta fino a che una delle tre condizioni di stabilità non viene superata, e successivamente il passo temporale torna a diminuire. Se i criteri di stabilità continuano ad essere superati, il passo temporale diminuisce fino al minimo valore. Se il minimo intervallo temporale non è sufficientemente piccolo per conservare il volume o la stabilità numerica si presentano tre possibili soluzioni: a) riduzione del passo temporale; b) il coefficiente C di stabilità numerica viene adattato; c) vengono modificati i dati di input. I tre parametri fondamentali per la stabilità sono: le dimensioni della griglia, la portata di picco in ingresso ed il passo temporale. Piccole dimensioni degli elementi della griglia con un aumento delle portate dell'idrogramma in ingresso ed un'ampia portata di picco, necessitano di un passo temporale molto ridotto.

Le principali assunzioni e limitazioni del modello sono:

- Ogni cella della griglia è rappresentata da un singolo valore di quota, profondità del flusso e rugosità;
- Il flusso è considerato in moto permanente per la durata del passo temporale;
- Distribuzione della pressione idrostatica;
- Gli elementi della griglia nel canale sono rappresentati da una geometria del canale e dalla rugosità;
- Il flusso nel canale è rappresentato in maniera monodimensionale.

DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

Per quanto concerne il dominio di calcolo esso è stato creato in ambiente di pre-processamento GDS, importando lo shape file puntuale ricavato dalla conversione del raster DEM in un elemento vettoriale (shape file Z puntuale) ; in questa maniera negli elementi puntali sono immagazzinate tutte le informazioni relative alle quote dell'area in esame. Il passo successivo è quello di sovrapporre agli elementi del DEM la griglia di calcolo. La scelta delle dimensioni della griglia di calcolo è un passo fondamentale che avrà notevole influenza sulla stabilità del modello e sui tempi di calcolo.

Relativamente alla scelta di tale dimensione esiste un'espressione empirica utile alla sua stima. Tale espressione vale:

$$0.03 \text{ m/s} < Q_{\text{picco}} / l^2 < 0.3 \text{ m/s}$$

Dove Q_{picco} è la portata massima dell'idrogramma in entrata al dominio di calcolo ed l la lunghezza del lato della singola cella. Fissato l'idrogramma o lo ietogramma in ingresso, la presente relazione fornisce un intervallo di valori accettabili per dimensione della cella di calcolo l ; è stata scelta una griglia di calcolo con elementi aventi lato della dimensione di 3 m. Chiaramente la griglia coprirà un'estensione superiore alla nostra area di calcolo, e proprio per questo motivo sarà necessario definire, attraverso una selezione con un poligono, tutti quegli elementi della griglia che costituiscono l'effettivo dominio di calcolo. A questo punto, definita l'estensione del dominio e le dimensioni dei suoi elementi, a ciascuna cella è assegnato un valore di elevazione attraverso i punti del DEM, ed un valore di rugosità di Manning omogeneo per tutta l'area di inondazione ($n = 0.10$).

Per il nostro caso di studio, oltre a questi file che definiscono le proprietà geometriche e spaziali dell'intera griglia, potrebbe essere sufficiente la modellazione di un overland flow, la quale prevede uno ietogramma in ingresso, su tutta l'area di interesse. In realtà, viste le capacità del modello, è giusto inserire tutti gli elementi presenti nell'area di studio, vale a dire i rilevati stradali, gli edifici, i canali e gli argini.

RAPPRESENTAZIONE DELLE STRADE

Per quanto concerne i rilevati stradali all'interno di FLO-2D è disponibile una routine specifica (STREET FLOW) per simulare l'effetto delle strade sul procedere dell'inondazione.

Il codice FLO-2D prevede che tutti i rilevati siano rappresentati come semplici stramazzi caratterizzati da un coefficiente di efflusso C_q pari a 2.85, applicato alla formula:

$$q = C_q \times H^{3/2}$$

dove q è la portata per unità di larghezza dello stramazzo e H è il battente. Per la simbologia si veda pure la figura sottostante. Lo stramazzo viene poi considerato rigurgitato quando il tirante di valle raggiunge lo 85% del tirante di monte. In questo caso il calcolo della portata che defluisce sullo stramazzo è calcolata ricorrendo alle equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, come meglio precisato nel seguito.

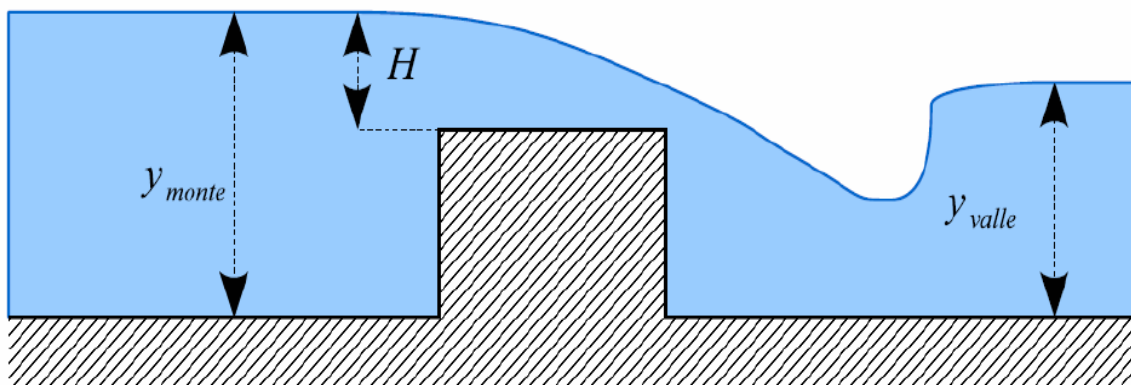


Figura - Schema dello stramazzo così come modellato dal FLO-2D .

Il flusso sulla strada è simulato come un flusso poco profondo in un canale rettangolare di altezza limitata. Gli elementi della griglia possono contenere una o più strade e le loro intersezioni, mentre l'utente può specificare il nome della strada seguito dal numero degli elementi della griglia che costituiscono la sezione della strada. La direzione del flusso attraverso la sede stradale è definita specificando la larghezza della medesima con sezioni che hanno un'orientazione secondo le otto direzioni possibili. Importante ricordare che le strade sono assunte emanarsi dal centro dell'elemento interessato all'elemento di confine nelle otto direzioni di flusso.

CANALI

Nel modello FLO-2D i canali sono simulati in maniera sostanzialmente monodimensionale con forme schematiche, rettangolare o trapezoidale, oppure attraverso sezioni.

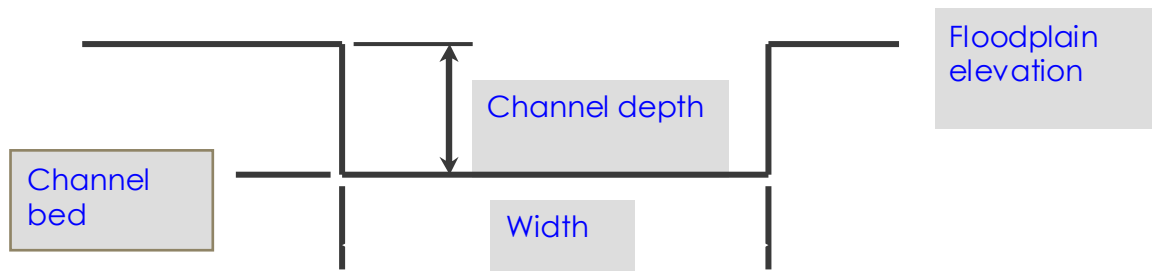


Figura - Schema del canale stramazzo così come modellato dal FLO-2D .

Ogni volta che la capacità trasmissiva del canale viene superata una certa portata viene scambiata con la zona inondabile e ciò determina la quantità di fluido. Il calcolo è basato tra la differenza tra l'elevazione potenziale della superficie d'acqua del canale e quella della zona inondabile. La velocità è calcolata in base all'assunzione dell'approssimazione diffusiva dell'equazione del momento. Le portate in uscita e di ritorno, da e verso il canale, sono calcolate usando la rugosità assegnata alla piana inondabile, come mostrato nello schema della figura sottostante. L'interferenza tra il canale e la zona di inondazione è funzione dell'estensione del medesimo canale.

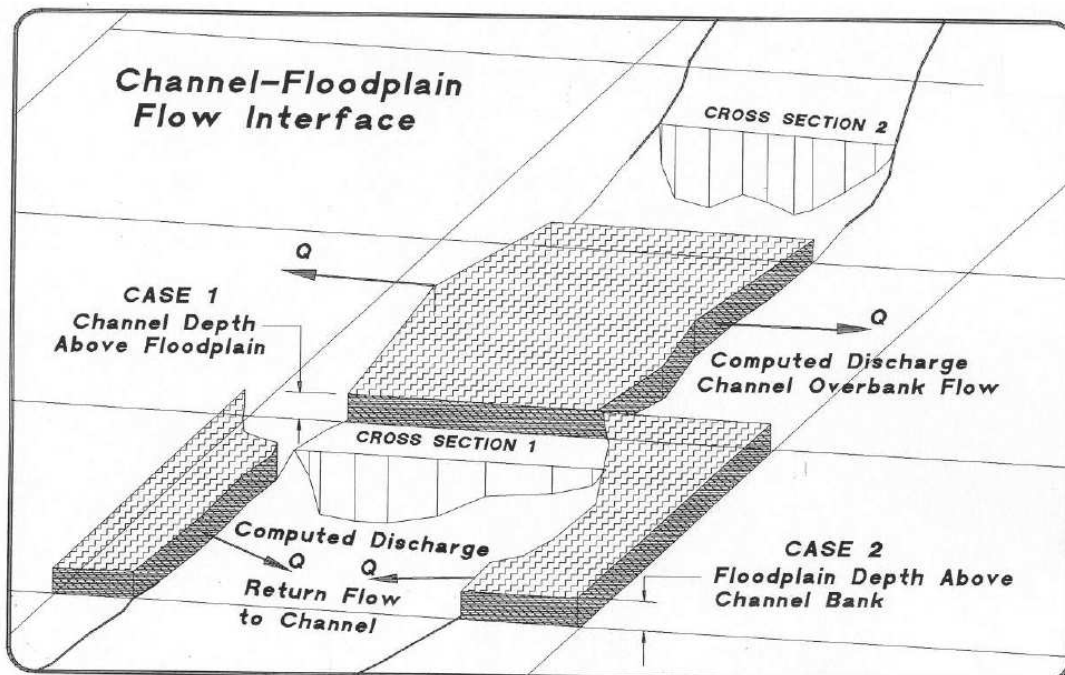


Figura - Schema di interferenza e scambio delle portate tra il canale e la piana inondabile

Se un canale rettangolare o trapezoidale è troppo piccolo rispetto agli elementi della griglia della piana inondabile e gli argini hanno un'elevazione sostanzialmente costante, non è necessario estendere il canale ed il flusso che somonta gli argini viene distribuito sugli elementi della piana inondabile. Se, al contrario, un canale presenta argini con quote differenti e sezioni rilevate, allora il canale viene esteso in una o più direzioni aggiungendo elementi alla griglia principale; in sostanza il canale viene ricoperto da una griglia secondaria di elementi e la zona centrale del medesimo è il confine tra queste due griglie. Questo rende possibile distribuire e separare il flusso sulla floodplain, basandosi sull'elevazione della superficie d'acqua, sull'elevazione del singolo argine e l'elevazione delle due griglie.

EDIFICI

Sull'area oggetto di studio insistono alcuni edifici a carattere rurale, che pur non costituendo un agglomerato continuo, rappresentano un ostacolo al flusso di inondazione e possono avere effetti, se pur molto modesti, sui risultati finali della modellazione. Infatti una delle capacità di FLO-2D è quella di simulare problemi di flusso associati con ostruzioni o perdita delle capacità di accumulo per la presenza di edifici. Sono due i fattori che consentono di simulare tale processo: ARFs, il fattore di riduzione dell'area ed il fattore di riduzione dell'ampiezza (WRFs). Il primo modifica la capacità di accumulo di un elemento della griglia, il secondo larghezza disponibile al flusso. Il WRFs può essere assegnato ad una delle otto direzioni della griglia, e consente di bloccare totalmente o parzialmente il flusso nelle direzioni scelte. Entrambi i fattori possono essere assegnati ad ogni singolo elemento della griglia e sono specificati come percentuale dell'area totale e della larghezza dell'elemento.

DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI IDRAULICHE E DEGLI ALTRI PARAMETRI

Di seguito sono descritte brevemente le modalità con cui vengono rappresentate le condizioni al contorno. Si rimanda al manuale del software per una trattazione maggiormente esaustiva. Le condizioni al contorno sono suddivise in condizioni di "non attraversamento", di "inflow" e di "outflow". Le prime sono utilizzate per definire porzioni "impermeabili" del contorno del dominio di calcolo; le seconde sono impiegate per immettere portate assegnate all'interno del dominio di calcolo, mentre le condizioni di outflow sono utilizzate per permettere il deflusso di portate verso l'esterno del dominio di calcolo.

CONDIZIONI DI NON ATTRAVERSAMENTO

La condizione di non attraversamento può essere utilizzata per definire porzioni del contorno attraverso le quali non avviene l'immissione o la sottrazione di volumi di fluido nel dominio. Questa condizione può essere impiegata quando le onde di sommersione che si intendono

simulare non investano tali tratti del contorno. Questo avviene, ad esempio, quando le onde oggetto di studio sono confinate nelle porzioni più interne del dominio dalla conformazione del terreno o dalla presenza di argini non tracimabili ed è quindi impedita la loro interazione con parte del contorno. La condizione di non attraversamento può però essere impiegata anche quando le onde di sommersione investono il contorno del dominio di calcolo qualora questo coincida con rilevati non tracimabili.

CONDIZIONI DI INFLOW

La possibilità per l'immissione di un'assegnata portata nel dominio di calcolo si basa sull'attribuzione ad un elemento della griglia di un idrogramma. Tale immissione può avvenire sia per un elemento della piana inondabile, sia per uno appartenente ad un fiume o ad un canale. Nel caso in esame si è assegnato un idrogramma di precipitazione al netto della perdita di infiltrazione.

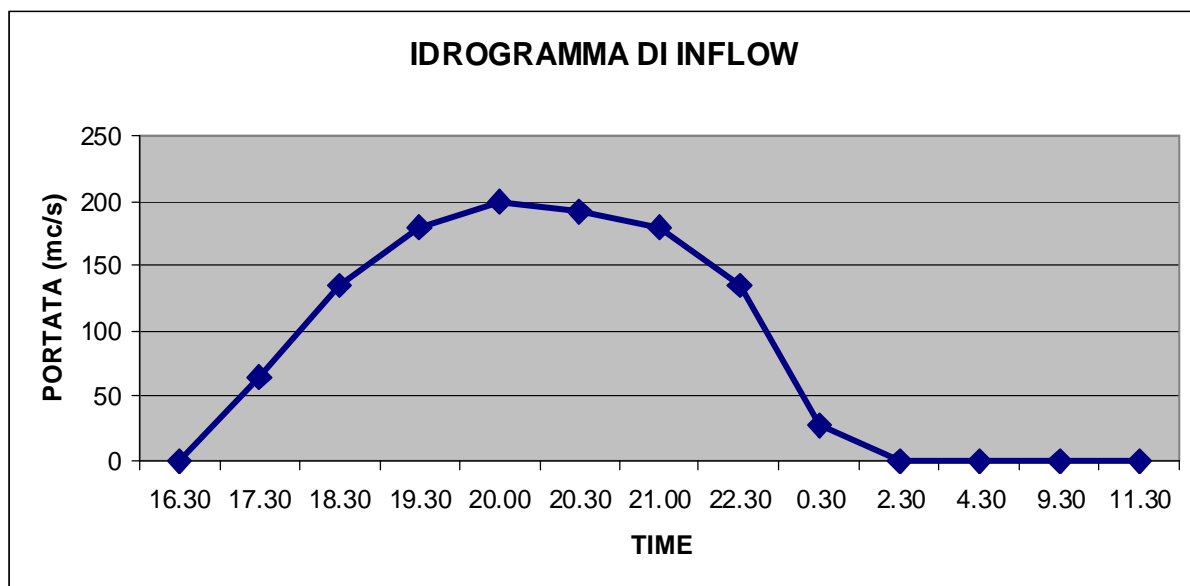


Figura – Esempio di idrogramma assegnato all'elemento del dominio di calcolo soggetto alla rottura arginale

La procedura di integrazione nel tempo eseguita dal programma, per la particolare cella di immissione della portata, è la seguente:

1. La variazione di portata ΔQ che compete al passo di calcolo Δt viene divisa equamente fra le 8 celle adiacenti (4 nelle direzioni cardinali e 4 nelle direzioni diagonali),

$$\Delta Q_1 = \Delta Q / 8.$$

2. Su queste ultime viene stimato il tirante utilizzando l'equazione di continuità:

$$\Delta y = \frac{\Delta Q_1 \Delta t}{l^2}$$

3. Le grandezze idrauliche, profondità e velocità, vengono mediate fra la cella in ingresso e quelle circostanti. In tal modo sono individuati i valori di prima iterazione per le medesime grandezze, in corrispondenza delle otto interfacce della cella di ingresso con le otto celle limitrofe.

4. Con riferimento ad ogni singola interfaccia, l'equazione di conservazione della quantità di moto, proiettata perpendicolarmente all'interfaccia medesima, è discretizzata mediante differenze finite basate sui valori di primo tentativo individuati al punto 3. Dalla forma discretizzata di questa equazione si ricava la velocità della corrente relativa alla direzione associata all'interfaccia in oggetto.

5. La profondità nella cella di Inflow al nuovo istante temporale è ottenuta utilizzando l'equazione di bilancio di massa della cella medesima tenendo in considerazione le velocità calcolate al punto 4.

CONDIZIONI DI OUTFLOW

La modellazione numerica del deflusso di portate uscenti dal dominio è realizzata introducendo celle particolari (celle di outflow) in cui il calcolo dell'evoluzione temporale delle portate e dei tiranti è trattato in modo opportuno. Questa implementazione è finalizzata all'ottenimento di condizioni al contorno non riflettenti, ossia tali da impedire la generazione e la propagazione all'interno del dominio di calcolo di oscillazioni spurie di livello e portata. Ad ogni passo di calcolo, le modalità per la stima della portata e dei livelli relativi alla cella di outflow può essere riassunta nei seguenti due punti:

1. La portata uscente, Q_{out} , sulla singola cella di outflow è calcolata sommando le portate entranti, Q_{in} ,

$$Q_{out} = \sum Q_{in}$$

2. La profondità valutata nel centro della cella di outflow, y_{out} , è calcolata come media pesata delle profondità delle celle adiacenti, y_{out} :

$$y_{out} = \sum_j w_j \times y_j$$

dove w_j sono pesi opportuni.

Si rimanda al manuale del software FLO-2D per una trattazione più dettagliata. Le simulazioni già eseguite hanno confermato che le condizioni al contorno implementate nel modello sono di tipo non riflettente.

Questo permette, in linea di principio, di simulare esondazioni su porzioni di territorio arbitrarie, i cui limiti possono essere attraversati liberamente da onde di sommersione. È importante ricordare che possono essere impostate tre tipologie di condizioni di outflow in relazione alle informazioni di cui si dispone e alle geometrie presenti:

- Condizione di outflow senza un' ideogramma , per cui la cella o le celle del dominio di calcolo con questa tipologia di condizioni funzioneranno come un pozzo drenante;
- Condizioni di outflow in funzione di una relazione altezza-tempo, magari in riferimento ad una struttura idraulica;
- Condizioni di outflow in funzione di una relazione altezza-tempo per un canale all'interno di una piana inondabile.

ALTRI PARAMETRI

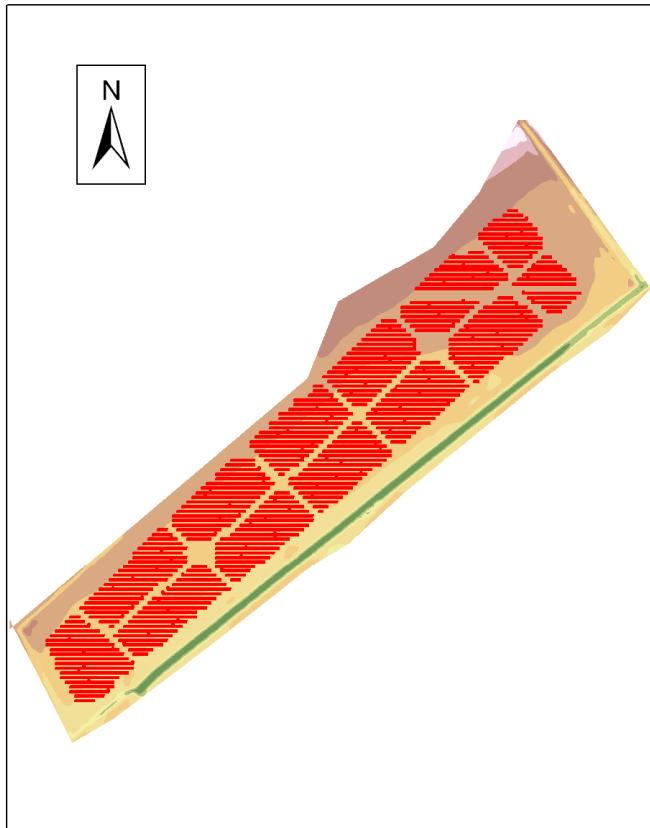
- *Scabrezza del terreno*: è stato assegnato un coefficiente di rugosità $n=0.10$ per la zona soggetta ad inondazione ad eccezione dei rilevati stradali a cui è stato assegnato un valore di 0.05 secondo quanto consigliato dal manuale del software. Lo stesso valore di 0.10 è da ritenersi accettabile se confrontato con quelli suggeriti dal manuale per zone in cui l'uso del suolo è sostanzialmente quello di seminativo.
- *Tempi della simulazione*: l'istante dell'inizio della simulazione coincide con l'inizio della precipitazione come definita nello ietogramma. Il passo di tempo utilizzato è di 30 secondi, mentre le tolleranze adottate sulla profondità dell'acqua sono nell'ordine dello 0.20% ed il coefficiente di stabilità dell'onda dinamica è stato impostato sul valore di -0.50.

- *Permeabilità del suolo:* per valutare il grado di assorbimento del litotipo calcareo è stata eseguita una prova di permeabilità a carico variabile, secondo le prescrizioni AGI-Roma 1977. Dalle prove eseguite è risultato che il coefficiente di permeabilità sia pari a 0.00000055 m/sec = 0.00055 cm/sec. Tuttavia considerando la forte influenza che gioca lo stato di fratturazione della matrice su questo parametro, per il suolo preso in considerazione, si è adottato una permeabilità di 10^{-6} m/s valore quindi più prudente per la valutazione del rischio idraulico.

La simulazione dipende fortemente anche dal grado di saturazione iniziale del suolo. Per una questione di sicurezza si è imposto il valore iniziale di imbibizione del suolo pari al 80% della capacità di immagazzinamento, ovvero il suolo è in condizioni vicine alla saturazione. In questa condizione l'effetto di deflusso superficiale ottenibile è il massimo a parità di evento pluviometrico.

RISULTATI DELLA SIMULAZIONE NUMERICA

I risultati del calcolo e della propagazione del deflusso superficiale sono riportati in figura sottostante. Sono riportati in sintesi i valori dell'altezza idrometrica prodotta a seguito dell'evento pluviometrico di progetto per ogni cella costituente il raster del dominio spaziale dell'impianto. La cella raster adottata è di 3 x 3 m. Nelle figure sottostanti sono state riportate le altezze idrometriche per ogni cella del dominio a diversi istanti della simulazione fino al raggiungimento del valore massimo.



Risultati della
simulazione idraulica bidimensionale
di un evento critico di precipitazione
con tempo di ritorno di 25 anni

Legenda
— Layout

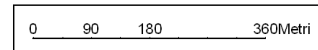
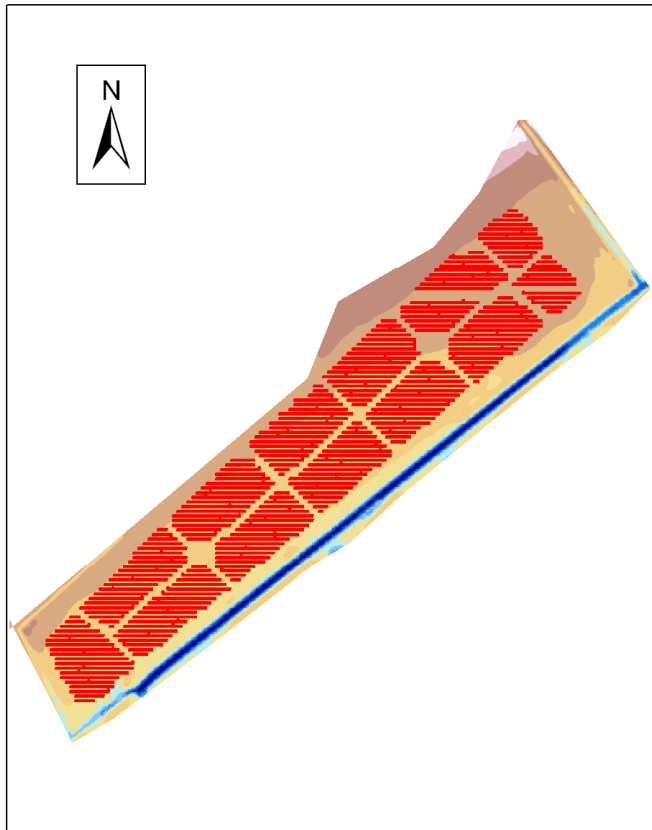


Figura – Risultati della simulazione all'inizio dell'evento pluviometrico: altezza idrometrica risultante su ciascun elemento della griglia 3 x 3 m



Risultati della
simulazione idraulica bidimensionale
di un evento critico di precipitazione
con tempo di ritorno di 25 anni

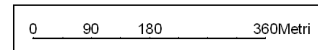
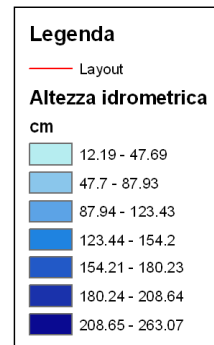
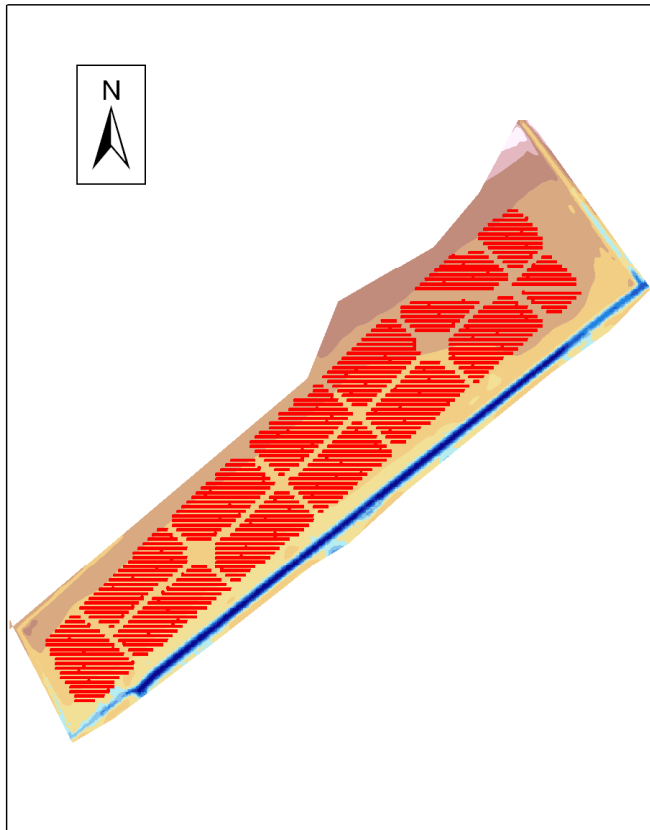


Figura – Risultati della simulazione dopo 20 minuti dall'inizio dell'evento pluviometrico: altezza idrometrica risultante su ciascun elemento della griglia 3 x 3 m



Risultati della
simulazione idraulica bidimensionale
di un evento critico di precipitazione
con tempo di ritorno di 25 anni

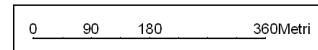
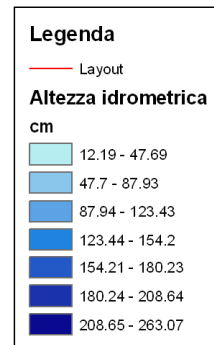
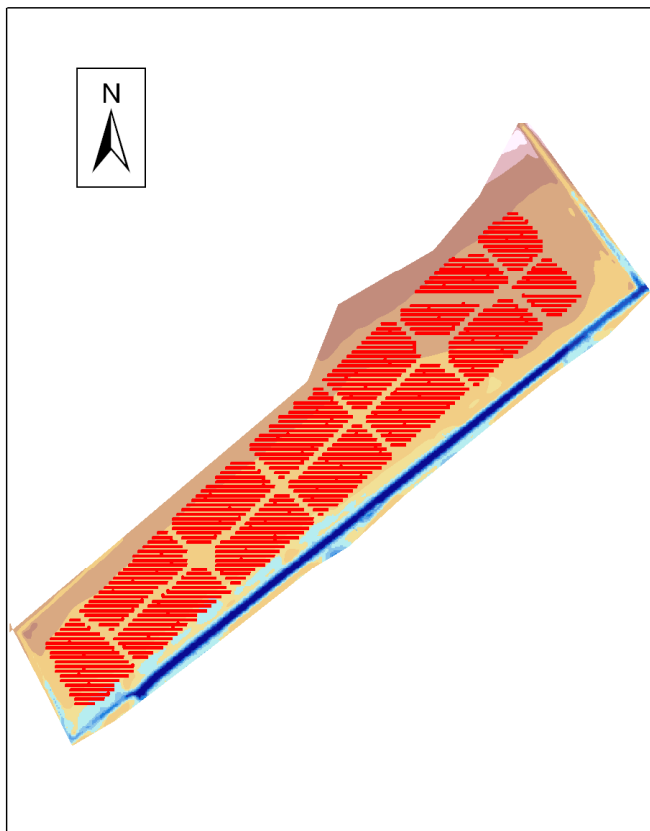


Figura – Risultati della simulazione dopo 40 minuti dall'inizio dell'evento pluviometrico: altezza idrometrica risultante su ciascun elemento della griglia 3 x 3 m



Risultati della
simulazione idraulica bidimensionale
di un evento critico di precipitazione
con tempo di ritorno di 25 anni

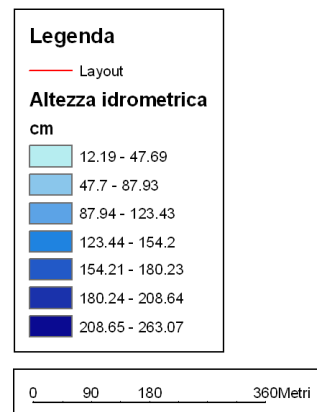
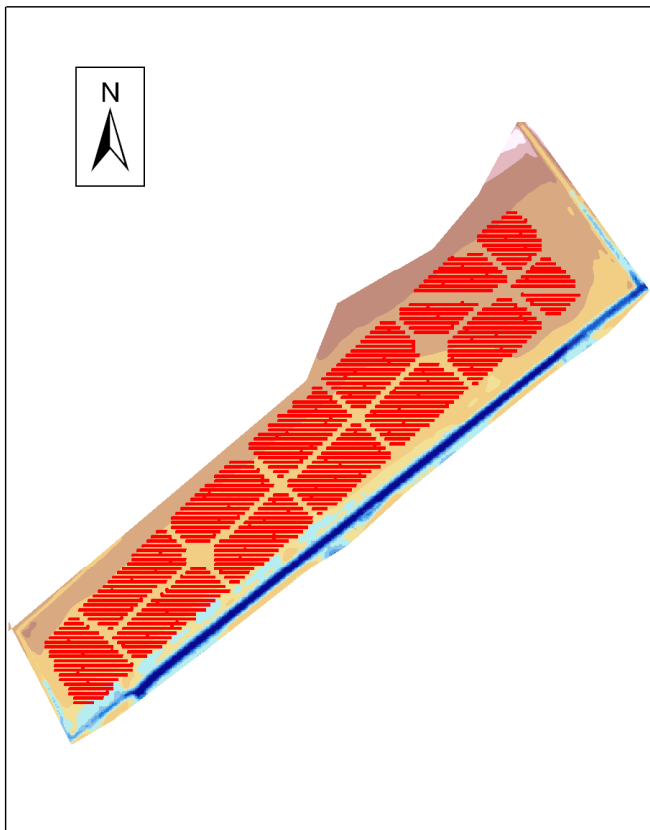


Figura – Risultati della simulazione dopo 60 minuti dall'inizio dell'evento pluviometrico: altezza idrometrica risultante su ciascun elemento della griglia 3 x 3

Nella figura sottostante è riportata la condizione di massima altezza idrometrica ottenuta quindi circa 1 ora dopo l'inizio dell'evento pluviometrico ossia alla sua conclusione. In figura sono rappresentati (in rosso) i moduli dei pannelli fotovoltaici in maniera da avere una chiara idea della posizione relativa rispetto alla zona alluvionata. Inoltre si riporta anche la serie temporale relativa all'altezza idrometrica simulata nella cella dove si realizza il valore massimo assoluto all'interno dell'impianto.



Risultati della
simulazione idraulica bidimensionale
di un evento critico di precipitazione
con tempo di ritorno di 25 anni

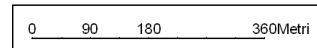
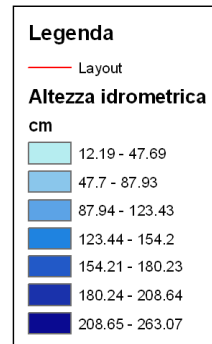


Figura – Risultati della simulazione mediante modello numero bidimensionale. Sono riportate le altezze idrometriche massime registrate a seguito dell'evento pluviometrico di progetto.

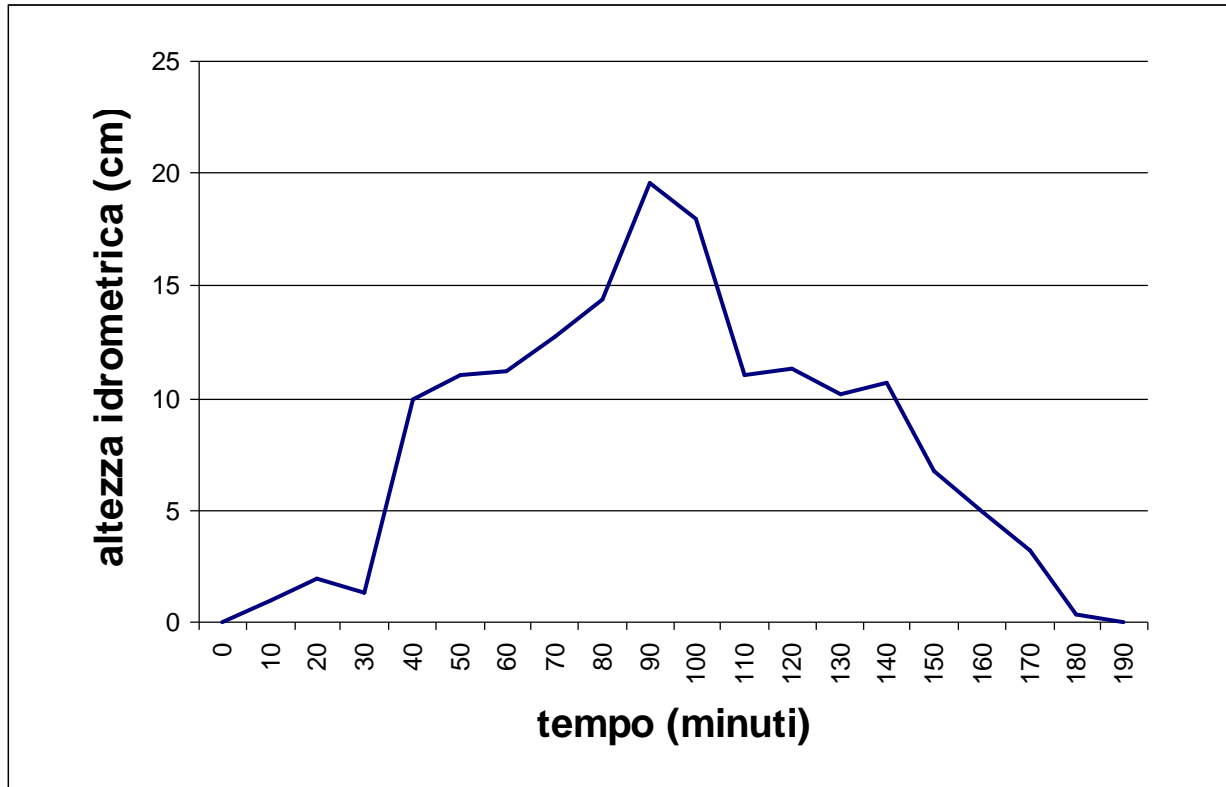


Figura – Andamento della altezza idrometrica nel punto in cui si raggiunge il valore massimo

Come è possibile vedere dalle figure, il livello idrometrico massimo registrato all'interno dell'impianto è di poco inferiore a 20 cm. Durante l'evento pluviometrico nella fase iniziale si formano varie zone in cui il risultato del flusso superficiale dell'acqua si accumula senza essere compensato dalla infiltrazione dell'acqua nel suolo. L'aumento del grado di saturazione dell'acqua implica l'aumento della conduttività idraulica nel suolo ed il conseguente aumento del tasso di infiltrazione. Per questo, le aree in cui il contributo dell'infiltrazione si aggiunge al drenaggio superficiale garantito dalla pendenza topografica via via smaltiscono l'accumulo dell'acqua. Al contrario le zone dove la topografia non consente il drenaggio superficiale e dove il limite massimo del tasso di infiltrazione pari alla conduttività idraulica a saturazione non è comunque sufficiente a smaltire l'acqua in arrivo dal deflusso orizzontale, si evidenziano via via altezze idrometriche crescenti. Al termine dell'evento pluviometrico un'area limitata all'interno dell'impianto, nella zona sud-ovest, rimane alluvionata con un'altezza idrometrica che va dai 2 ai 10 cm. La condizione di alluvionamento permane per poche ore e si esaurirà solo ad opera della infiltrazione verticale dell'acqua nel suolo.

Tutto questo considerato, l'impianto fotovoltaico in esame risulta caratterizzato da un trascurabile rischio idraulico.

INTERVENTI

Dai risultati prodotti dalla simulazione mediante modello idraulico bidimensionale non si sono identificate delle condizioni di rischio di alluvionamento conseguente ad un evento pluviometrico critico con probabilità pari a 25 anni di tempo di ritorno praticamente trascurabile. Non sono quindi necessarie delle misure di protezione dal rischio e degli interventi per evitare danni.

I Tecnici