RELAZIONE IDRAULICA DELLA REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI EX CAVA SAN ROCCO

PREMESSA

La presente Relazione tratta e studia gli aspetti idraulici, che sono propedeutici alla progettazione della rete di regimazione idraulica delle acque raccolte dalle superfici scolanti, presenti nel sito della ex cava San Rocco, situata in Comune di Millesimo (SV), loc. San Rocco. Lo studio ha lo scopo di verificare l'adeguatezza della rete di regimazione, di collettamento e di smaltimento.

E' necessario infatti realizzare una rete che allontani gli eventi meteorici critici ed i possibili apporti idrici eccezionali, in piena sicurezza, senza effetti negativi sull'area (erosione, cedimenti e scavi) e sul territorio circostante (esondazioni, trasporto solido, frane). La verifica è stata effettuata facendo riferimento alla situazione idraulica quale risulterà al termine dei lavori di messa in sicurezza ed ambientalizzazione della ex cava.

A tal fine si rende necessario determinare il valore della portata di piena e delle precipitazioni intense, con assegnato periodo di ritorno, da assumere come base del progetto di dimensionamento della reti idrauliche di cui sopra e della verifica dell'impluvio naturale presente nell'area oggetto di intervento, a ovest della ex cava. In tale impluvio confluiranno anche tutte le acque raccolte dalle superfici scolanti della ex cava.

Infatti la gestione dell'acqua e il controllo dei suoi effetti, sia dal punto di vista tecnico (erosione superficiale) che paesistico ambientale ha un effetto rilevante e fondamentale nella risistemazione morfologica del sito.

I FONDAMENTI DELLA PROGETTAZIONE

La progettazione complessiva di tutta la rete idraulica del sito è pesantemente condizionata dalla ricostruzione topografica dell'area. Si è tenuto conto della presenza di un impluvio naturale di un rio anonimo, che è stato mantenuto, potenziandone, i parametri idraulici, per tenere conto degli eventi critici di progetto (tempo di ritorno di progetto di 200 anni).

L'acqua di deflusso superficiale dell'area genera problematiche diverse, a seconda delle condizioni ambientali. In aree particolarmente sensibili a

fenomeni erosivi, e a movimenti di massa superficiali, il modellamento deve favorire un rapido e sicuro allontanamento delle acque in eccesso limitandone l'infiltrazione e l'accumulo.

Si è tenuto conto che pendii ripidi favoriranno un maggiore deflusso superficiale a scapito dell'infiltrazione; viceversa pendii poco inclinati favoriranno una maggiore infiltrazione, ed accumulo di acqua.

Anche la lunghezza delle scarpate gioca un ruolo importante: al suo aumentare si registra sempre un aumento nei volumi del deflusso associati ad un aumento nella velocità e nell'erosione, specie quella incanalata. Cosi come la loro altezza: a parità di materiale, alti dislivelli risulteranno più stabili se modellati con pendii a limitata pendenza, mentre piccoli dislivelli potranno essere sistemati facendo ricorso a scarpate ripide, con pendenze forti, senza che si manifestino particolari problemi di stabilità.

Nell'area sono presenti forme differenziate di superficie, quali superfici convesse, in cui vi è un aumento diretto del deflusso, all'aumentare della pendenza, e superfici concave, dove al diminuire della pendenza si ha, in genere, un forte decremento nel deflusso.

Essendo l'area esposta a sud, nella sistemazione si sono preferite forme che consentono lo stoccaggio delle acque meteoriche a servizio della vegetazione presente. In queste aree, infatti la disponibilità idrica rappresenta il fattore limitante di tutta l'attività biologica. Questo accumulo, sia superficiale che sotterraneo, non comprometterà in nessun modo le condizioni di stabilità geomeccaniche del sito.

Nel modellamento delle scarpate si è cercato in ogni modo di minimizzare il rischio di erosione, evitando pendici troppo pendenti o troppo lunghe, così come sono state evitate grandi concentrazioni di deflusso, sia superficiale che sotterraneo, alla base dei versanti. I pendii sono stati interrotti con gradoni subpianeggianti, ove è stata posizionata la rete di raccolta ed allontanamento dell'acqua in eccesso.

Un altro elemento fondamentale per il mantenimento della stabilità di un sito è rappresentato dalla presenza di falde e dei relativi affioramenti a giorno. La loro azione si manifesta direttamente, con pressioni idrostatiche, idrodinamiche, saturazioni ed, indirettamente, con alterazioni delle rocce.

Non essendo nell'area presenti falde, non si è reso necessario adottare strategie passive, adattando le zone interessate dall'affioramento a queste condizioni più critiche, limitando ad esempio le pendenze, o all'opposto adottando strategie attive con interventi di tipo ingegneristico, che prevedano interventi che intercettino le falde, le captino al fine di eseguire un allontanamento controllato delle acque stesse.

LA RETE IDRAULICA

Risulta quindi necessario realizzare nel sito della ex cava una rete di raccolta e scolo controllato delle acque di scorrimento superficiale, al fine di favorirne un veloce e sicuro allontanamento, limitando le possibilità sia di erosione superficiale che di infiltrazione profonda

La rete idraulica deve consentire l'allontanamento veloce ed in sicurezza delle acque superficiali in eccesso. Questo obiettivo si realizza limitando l'effetto meccanico di scavo dovuto all'acqua superficiale (diminuendo la velocità e quindi l'erosione ed il trasporto solido). Non tutta l'acqua dovrà comunque essere allontanata, in quanto una parte di essa è indispensabile al mantenimento di una copertura vegetale, al fine di rendere stabile l'area risistemata, nonostante le modificazioni a cui questa andrà incontro.

Queste finalità si raggiungono attraverso un'adeguata progettazione, dimensionamento e realizzazione della rete di scolo. Il dimensionamento e la realizzazione devono essere modulate tenendo conto delle condizioni particolari presenti ("giovinezza morfologica del sito", pendenze accentuate, limitata presenza della copertura vegetale ecc).

Questo comporta la necessità imprescindibile di assicurare una riuscita certa e di lunga durata dell'intervento, anche alla luce degli scarsi dati teorico-pratici disponibili in letteratura per i piccoli bacini idrografici o per le scarpate (deflussi, tempi di corrivazione, ecc.).

La progettazione della rete di scolo in una risistemazione ambientale deve prevedere il dimensionamento della rete che allontani gli eventi meteorici critici, in piena sicurezza, senza effetti negativi sulla stessa rete (erosione, cedimenti e scavi) e sul territorio circostante (esondazioni, trasporto solido, frane).

E' innanzitutto necessario definire l'evento critico che la rete deve sopportare. Nel caso in oggetto, per dimensionare la rete si è fatto riferimento ad un evento meteo con tempo di ritorno 200-ennale. Si è quindi proceduto al calcolo della portata massima che attraversa la sezione che sottende una certa area, con pendenza e conformazione definite.

Partendo da questi dati è stato possibile definire tutti i parametri idraulici e geometrici delle diverse porzioni della rete di scolo. Questa è stata prevista capillarmente diffusa nell'area per intercettare l'acqua di scorrimento superficiale, concentrandola e convogliandola verso il recipiente di scolo finale.

Si è proceduto quindi al calcolo delle dimensioni della sezione e di tutti i parametri idraulici (pendenza del fondo, scabrezza ecc.) che sono

elementi molto importanti specie per la rete di ordine superiore (nel caso specifico la canaletta di base) che deve raccogliere e concentrare i singoli deflussi; tale sezione dovrà essere in grado di ricevere i volumi critici previsti.

CALCOLO DELLA PORTATA

Per poter calcolare il valore della portata massima in una qualsiasi sezione della rete di scolo si possono utilizzare approcci diversi. Nonostante la disponibilità di molti modelli sviluppati per calcolare questa incognita, esistono altrettanti problemi circa la loro applicazione. In in particolare le piccole superfici interessate, nonché la mancanza di dati idrografici puntuali. Nel presente studio è stato utilizzato il metodo analitico denominato " Metodo Razionale",

Per il calcolo della portata massima si può utilizzare il metodo proposto da Turazza, che richiede l'applicazione della formula:

$$Qc = k\ c\ i\ A$$

dove:
Q = portata massima (mc/s);
A = area scolante (kmq);
c = coefficiente di deflusso che tiene conto dell'infiltrazione;
i = intensità della precipitazione che origina la piena;
k = coefficiente per uniformare le unità di misura.

Per sviluppare questo metodo è necessario calcolare innanzitutto i parametri idraulici del bacino posto a monte di una data sezione.

Altezza di pioggia

L'Autorità di Bacino del fiume Po nella cui area di riferimento ricade il sito della ex cava oggetto di intervento, ha definito con una propria direttiva, in attuazione dell'art. 10 del P.A.I. i valori delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto di opere idrauliche. La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto del bacino è stata effettuata attraverso l'individuazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo $h(t) = a\ t^{n,}$ in cui i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato. Sono state utilizzate le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del servizio Idrografico e Mareografico Italiano relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6,12, 24 ore consecutive.

Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette è stata condotta un'interpolazione spaziale con il metodo di "kriging" dei parametri *a* e *n* delle linee segnalatrici, discretizzate in base a un reticolo di 2 km di lato.

I valori indicati costituiscono riferimento per le esigenze connesse a studi e progettazioni che, per dimensione e importanza, non possono svolgere direttamente valutazioni idrologiche più approfondite a scala locale

Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione, t_c rappresenta il tempo necessario perché una particella di acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino possa far sentire il suo effetto sulla sezione di riferimento. La determinazione di questo valore rappresenta un'incognita molto grande. Tutti gli studi idraulici pubblicati in genere considerano bacini idrografici di dimensioni molto superiori a quelle del nostro caso. Le formule utilizzabili, già di per se molto indicative, diventano ancor più imprecise, il che rende assai difficile una loro applicazione puntuale. Si è pertanto proceduto a calcolare il t_c con la formula ritenuta dagli studiosi maggiormente affidabile e cioè la formula di Giandotti.

Scelta del coefficiente di deflusso (c)

Questo coefficiente rappresenta il rapporto tra il volume defluito in una certa sezione in un tempo t (t_p + t_c => tempo di pioggia + tempo di corrivazione) e l'acqua meteorica caduta nel bacino idrografico. Per ricavare il coefficiente corretto per l'area scolante si possono utilizzare delle tabelle di riferimento.

In conclusione, l'utilizzo del Metodo Razionale per la determinazione della portata, che come è noto fornisce valori leggermente sovrastimati, unitamente all'impiego della formula di Giandotti, che per piccolissimi bacini tende a sottostimare il tempo di corrivazione, permette di ottenere valori attendibili al fine della sicurezza della sistemazione idraulica.

Inoltre, viste le particolari condizioni in cui si opera (movimenti di substrati minerali e di substrati pedogenizzati, pendenze elevate, superfici limitate, assenza della vegetazione, almeno nei primi anni, e carenza di elaborazioni sperimentali su piccole o piccolissime superfici) è richiesto considerare nel dimensionamento delle opere un caso critico gravoso, corrispondente almeno ad un tempo di ritorno di 200 anni.

Questa assunzione può comportare un certo sovradimensionamento degli interventi, con un aggravio di costi di costruzione, ma oltre che limitato, questo aggravio verrà ripagato da un minor costo negli interventi di controllo, di manutenzione e di riparazione, in occasione di eventi meteorici fuori dalla norma.

Vi è inoltre la necessità assoluta di evitare i danni dovuti al moto non controllato delle acque di deflusso, visti gli ambiti morfologici molto delicati (sterri, riporti, pendici molto inclinate, ecc.) che caratterizzano le aree di cava dismesse e rimodellate.

POSIZIONAMENTO, DISTANZE E CARATTERISTICHE DELLE CANALIZZAZIONI

Il corretto posizionamento delle canalizzazioni rappresenta un elemento qualificante del progetto, in quanto il sistema di scolo deve intercettare l'acqua di scorrimento superficiale prima che questa crei, con l'aumento della velocità, problematiche di funzionamento. Questo è di particolare importanza per la rete primaria composta dall'insieme delle prime canalizzazioni. In realtà il problema è più complesso, in quanto vi è una interazione tra l'effetto lunghezza di scorrimento e suscettibilità del materiale rispetto all'erosione.

In considerazione della particolare morfologia del sito, quale risulterà dalla situazione a lavori ultimati, si è ritenuto necessario ricorrere a manufatti di raccolta ed allontanamento delle acque in eccesso, diversi dalle tradizionali affossature. I manufatti di cui è previsto l'utilizzo, sono realizzati in ferro zincato, di forma semicircolare, adatte per allontanare portate significative, anche in contesti caratterizzati da forti pendenze.

Gli elementi vengono posizionati ad embrice e collegati tra loro con bulloni. Gli elementi di piccole dimensioni possono essere fissati al suolo con picchetti o traverse, mentre quelli più grossi richiedono delle soglie in calcestruzzo. La loro efficacia è comunque funzione del posizionamento in sito.

METODOLOGIA APPLICATA NEL CASO DI SPECIE

Il sito ricade nel versante padano e il calcolo per la determinazione della portata di massima piena è stato eseguito in base ad uno dei metodi previsti dalle Norme di Attuazione - Direttive di Piano, del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po. E' stato utilizzato il Metodo razionale riportato nel punto 6.1 delle Norme sopracitate per trasformare in portate i modelli afflussi – deflussi.

Tale metodo si avvale, come accennato in precedenza, dei dati di precipitazione stimati dall'Autorità di Bacino tramite l'analisi statistica delle serie storiche dei valori di portata al colmo e tramite i metodi di regionalizzazione statistica **(Allegato 1).**

Per effettuare le verifiche idrauliche nei vari settori della cava, per i quali il progetto prevede distinte reti di collettamento, si è determinata sia le quantità d'acqua collettate dai vari sottobacini in cui è suddivisa la superficie colante della cava.

Si è pertanto suddiviso il bacino di dominio in quattro sottobacini denominati: sottobacino A, sottobacino B, sottobacino C e sottobacino D **(Allegato 2)**. Si è quindi proceduto ad eseguire le verifiche, per i vari rami della rete di regimazione e quella complessiva dell'impluvio di smaltimento (compresa la tombinatura stradale dallo stesso interessata), tenendo conto degli apporti dei singoli sottobacini.

Le acque del sottobacino A sono raccolte direttamente dall'impluvio naturale esistente.

Le acque del sottobacino B recapitano naturalmente nell'impluvio naturale, a quota 463.

Le acque colanti nel sottobacino C sono raccolte da canalette che recapitano in un pozzo di decantazione e da questo, mediante una canaletta (canaletta di base), posta immediatamente a valle del bastione di protezione della sede stradale, in parallelismo alla stessa, convogliate nell'impluvio naturale a quota 447 **(Allegato 3)**

Le acque colanti dal sottobacino D vengono raccolte dalla medesima canaletta posta in parallelismo alla strada.

DETERMINAZIONE DELLE PORTATE

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA AL COLMO DELL'IMPLUVIO DEL SOTTOBACINO A

Dati di progetto

Superficie del bacino	A	=	0,268 kmq
Lunghezza asta principale	L	=	0,164 km
Altitudine media del bacino	hm	=	537 m
Altitudine della sez. di chiusura	ho	=	463 m
Coefficiente di deflusso	c	=	0,60

Il calcolo della portata al colmo Qc (mc/s), viene effettuato con la seguente formula:

$$Qc = 0{,}28\ c\ i\ A$$

dove:

Qc = portata al colmo (mc/s)
c = coefficiente di deflusso
i = intensità di pioggia (mm/hr)
A = superficie del bacino imbrifero di dominio (kmq)

-Si assume cautelativamente un coefficiente di deflusso pari a 0,60. Tale valore è stato ricavato dai coefficienti raccomandati da "Handbook of Applied Hydrology"- Ven Te Chow, la cui tabella è riportata nelle soprarichiamate norme del P.A.I.

- L'intensità di pioggia è data da:

i = hc/tc = 109,14 mm/hr

dove:

hc = altezza di pioggia (mm)

tc = tempo di corrivazione (hr)

- Il tempo di corrivazione tc è stato determinato con la formula di Giandotti, riportata di seguito:

$$t_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{0.8\sqrt{(h_m - h_0)}}$$

e si è ottenuto il valore:

tc = 0,331 hr

- L'altezza di pioggia hc è stata determinata mediante la seguente formula:

$$hc = a(tc)^n$$

dove i valori di a e di n, sono stati ricavati dalle tabelle PAI.

Facendo riferimento alla **Cella BQ 146**, si è ottenuto:

- n per **Tr200 = 0,419**
- a per **Tr200 = 57,41**

e quindi si è ottenuto:

hc = 36,12 mm

Pertanto utilizzando la formula riportata in precedenza, si è ottenuta una portata al colmo:

Qc = 4,73 mc/s

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA AL COLMO DELL'IMPLUVIO DEL SOTTOBACINO B

Dati di progetto

Superficie del bacino	A	=	0,014 kmq
Lunghezza asta principale	L	=	0, 144 km
Altitudine media del bacino	hm	=	528,5m
Altitudine della sez. di chiusura	ho	=	463 m
Coefficiente di deflusso	c	=	0,60

Il calcolo della portata al colmo Qc (mc/s), viene effettuato con la seguente formula:

$$Qc = 0{,}28\ c\ i\ A$$

dove:

Qc = portata al colmo (mc/s)
c = coefficiente di deflusso
i = intensità di pioggia (mm/hr)
A = superficie del bacino imbrifero di dominio (kmq)

- Si assume cautelativamente un coefficiente di deflusso pari a 0,60 Tale valore è stato ricavato dai coefficienti raccomandati da “Handbook of Applied Hydrology”- Ven Te Chow, la cui tabella è riportata nelle soprarichiamate norme del P.A.I.

L’intensità di pioggia è data da:

i = hc/tc = 211,49 mm/hr

dove:

hc = altezza di pioggia (mm)

tc= tempo di corrivazione (hr)

- Il tempo di corrivazione tc è stato determinato con la formula di Giandotti, riportata di seguito:

$$t_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{0.8\sqrt{(h_m - h_0)}}$$

e si è ottenuto il valore:

tc = 0,106 hr

- L'altezza di pioggia hc è stata determinata mediante la seguente formula:

$$hc = a(tc)^n$$

dove i valori di a e di n, sono stati ricavati dalle tabelle PAI.

Facendo riferimento alla **Cella BQ 146**, si è ottenuto:

- n per **Tr200 = 0,419**
- a per **Tr200 = 57,41**

e quindi si è ottenuto:

hc = 22,42 mm

Pertanto utilizzando la formula riportata in precedenza, si è ottenuta una portata al colmo:

Qc = 0,50 mc/s

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA AL COLMO DELL'IMPLUVIO DEL SOTTOBACINO C

Dati di progetto

Superficie del bacino	A	=	0,011 kmq
Lunghezza asta principale	L	=	0,352 km
Altitudine media del bacino	hm	=	511 m
Altitudine della sez. di chiusura	ho	=	451,5 m
Coefficiente di deflusso	c	=	0,60

Il calcolo della portata al colmo Qc (mc/s), viene effettuato con la seguente formula:

$$Qc = 0,28\ c\ i\ A$$

dove:

Qc = portata al colmo (mc/s)
c = coefficiente di deflusso
i = intensità di pioggia (mm/hr)
A = superficie del bacino imbrifero di dominio (kmq)

- Si assume cautelativamente un coefficiente di deflusso pari a 0,60 Tale valore è stato ricavato dai coefficienti raccomandati da "Handbook of Applied Hydrology"- Ven Te Chow, la cui tabella è riportata nelle soprarichiamate norme del P.A.I.

- L'intensità di pioggia è data da:

i = hc/tc = 170,53 mm/hr

dove:

hc = altezza di pioggia (mm)

tc= tempo di corrivazione (hr)

- Il tempo di corrivazione tc è stato determinato con la formula di Giandotti, riportata di seguito:
-

$$t_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{0.8\sqrt{(h_m - h_0)}}$$

e si è ottenuto il valore:

tc = 0,154 hr

- L'altezza di pioggia hc è stata determinata mediante la seguente formula:

$$hc = a(tc)^n$$

dove i valori di a e di n, sono stati ricavati dalle tabelle PAI.

Facendo riferimento alla **Cella BQ 146**, si è ottenuto:

- n per **Tr200 = 0,419**
- a per **Tr200 = 57,41**

e quindi si è ottenuto:

hc = 26,26 mm

Pertanto utilizzando la formula riportata in precedenza, si è ottenuta una portata al colmo:

Qc = 0,32 mc/s

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA AL COLMO DELL'IMPLUVIO DEL SOTTOACINO D

Dati di progetto

Superficie del bacino	A	=	0,012 kmq
Lunghezza asta principale	L	=	0,247 km
Altitudine media del bacino	hm	=	452 m
Altitudine della sez. di chiusura	ho	=	447 m
Coefficiente di deflusso	c	=	0,60

Il calcolo della portata al colmo Qc (mc/s), viene effettuato con la seguente formula:

$$Qc = 0{,}28\ c\ i\ A$$

dove:

Qc = portata al colmo (mc/s)
c = coefficiente di deflusso
i = intensità di pioggia (mm/hr)
A = superficie del bacino imbrifero di dominio (kmq)

- Si assume cautelativamente un coefficiente di deflusso pari a 0,60 Tale valore è stato ricavato dai coefficienti raccomandati da "Handbook of Applied Hydrology"- Ven Te Chow, la cui tabella è riportata nelle soprarichiamate norme del P.A.I.

- L'intensità di pioggia è data da:

i = hc/tc = 91,07 mm/hr

dove:

hc = altezza di pioggia (mm)

tc= tempo di corrivazione (hr)

- Il tempo di corrivazione tc è stato determinato con la formula di Giandotti, riportata di seguito:

$$t_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{0.8\sqrt{(h_m - h_0)}}$$

e si è ottenuto il valore:

tc = 0,452 hr

- L'altezza di pioggia hc è stata determinata mediante la seguente formula:

$$hc = a(tc)^n$$

dove i valori di a e di n, sono stati ricavati dalle tabelle PAI.

Facendo riferimento alla **Cella BQ 146**, si è ottenuto:

- n per **Tr200 = 0,419**
- a per **Tr200 = 57,41**

e quindi si e' ottenuto:

hc = 41,16 mm

Pertanto utilizzando la formula riportata in precedenza, si è ottenuta una portata al colmo:

Qc = 0,18 mc/s

LA VERIFICA DELLE SEZIONI DELLE OPERE DI SMALTIMENTO

Le verifiche delle sezioni di deflusso delle opere che collettano e convogliano le acque complessivamente raccolte dal bacino e quelle dei vari sottobacini, sono di seguito riportate.

In particolare, la verifica delle sezioni critiche di deflusso e la verifica del franco di sicurezza dell'impluvio principale in cui verranno recapitate le acque della ex-cava a seguito della loro regimazione, verrà effettuata utilizzando il programma di calcolo HEC-RAS River Analysis System sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center* di Davis, CA (USA) (**Allegato 4)**.

Il programma è in grado di eseguire il calcolo dei profili idraulici di moto permanente gradualmente vario nei canali naturali. Possono essere simulati correnti lineari in regime di corrente lenta, veloce e mista con sezioni di qualsiasi geometria e in presenza di manufatti idraulici di varie tipologie.

Per valutare il profilo idraulico di un tratto fluviale, il programma utilizza una procedura basata sulla soluzione iterativa (*standard step method*)