

## Pon delta ja sen ympäristöongelmat

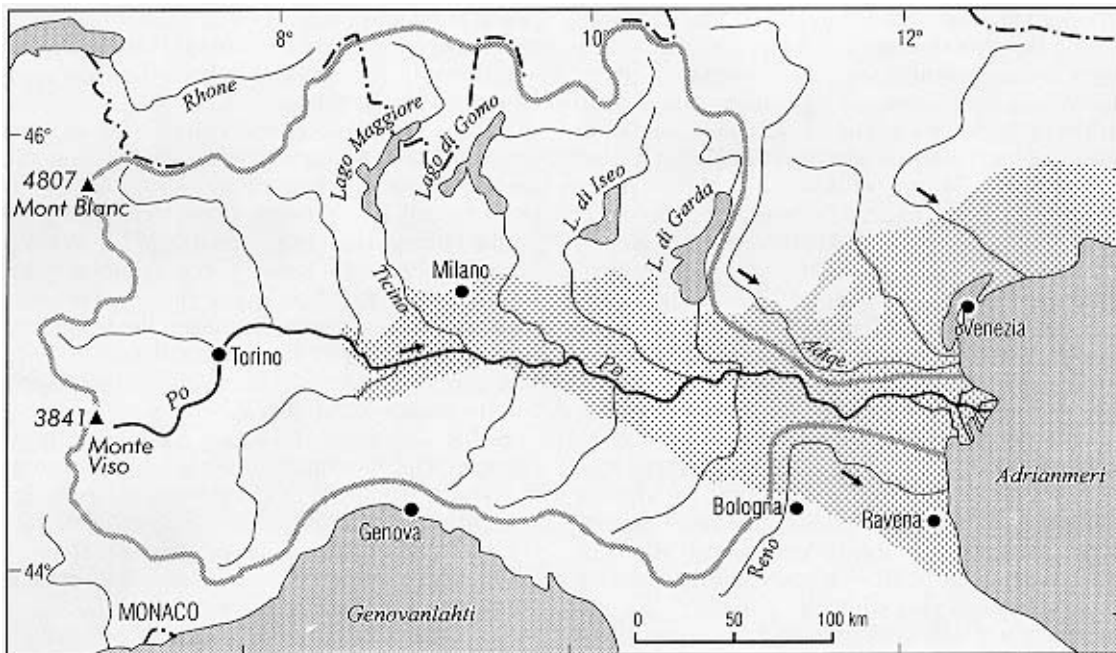
MATTI TIKKANEN

*Luonnonmaantieteen laboratorio, Helsingin yliopisto*

Italian suurimman joen Pon suulle ja varsille on syntynyt hedelmällinen ja taloudellisesti merkittävä suisto- ja tulvamaa-alue, joka peittää laajalti Pohjois-Italian tasankoa. Tasangon halki lännestä itään virtaava Pojoki alkaa Kottisiin Alppeihin kuuluvan Monte Viso -vuoren rinteeltä 2 022 metrin korkeudelta ja laskee 652 kilometriä virrattuaan moniltaaraisena Adrianmeren perukkaan Venetsian eteläpuolella. Sillä on lukuisia Alpeilta ja Apenniineilta alkavia sivujokia ja sen 70 091 neliökilometriä laaja valuma-alue kattaa valtaosan koko Pohjois-Italian maa-alasta (Bondesan *et alia* 1997). Vedenjakaja noudattelee lännessä ja pohjoisessa pitkälti Ranskan ja Sveitsin välistä rajaa, ja vain Lago Maggiore kohdalla laajahko Pon valuma-alueeseen kuuluva alue jää Sveitsin puolelle (kuva 1).

Po on Italian runsasvetisin joki, jonka vuotuinen keskivirtaama 1515 m<sup>3</sup>/s on kolminkertainen esimerkiksi Vuoksen keskivirtaamaan nähden. Tulvien yhteydessä Pon virtaama voi olla maksimissaan jopa 9 000 m<sup>3</sup>/s (Italy I 1944). Apenniinien rinteiltä tulevien sivuhaarojen vesimäärä on suurimmillaan syksyllä ja keväällä, pienimmillään kesän kuivuusjakson aikana. Alpeilta alkunsa saavien sivuhaarojen vesimäärät pysyvät melko tasaisina, koska sadetta tulee ympäri vuoden ja koska vuoristojäätiköt ruokkivat jokia kesäisin. Veden virtausta tasoittavat myös jääkautisten jäätiköiden jokilaaksoihin kuluttamat, reunamoreenien patoamat järvialtaat sekä veden suotautuminen pohjavedeksi Alppien etumaan sora- ja hiekkakerrostumiin (Peltonen & Tikkanen 1983).

Po virtaa voimakkaasti meanderoiden vauraan maatalousalueen halki ja joella on tärkeä merkitys mm. viljelymaiden keinokastelulle. Joen yläjuoksu on hyvin jyrkkä, sillä ensimmäisen parin peninkulman matkalla pudotusta on 1400 metriä eli keskimääräinen vietto on runsaat 60 metriä kilometriä kohden. Keski- ja alajuoksultaan joki on sitä vastoin erittäin loiva, ja Torinosta Adrianmerelle ulottuvalla matkalla keskimääräinen vietto on vain sadasosan edellisestä eli noin 60 cm/km. Joki on liikennöintikelpoinen 543 kilometrin pituudelta aina jokisuulta Ticinojoen yhtymäkohtaan saakka.

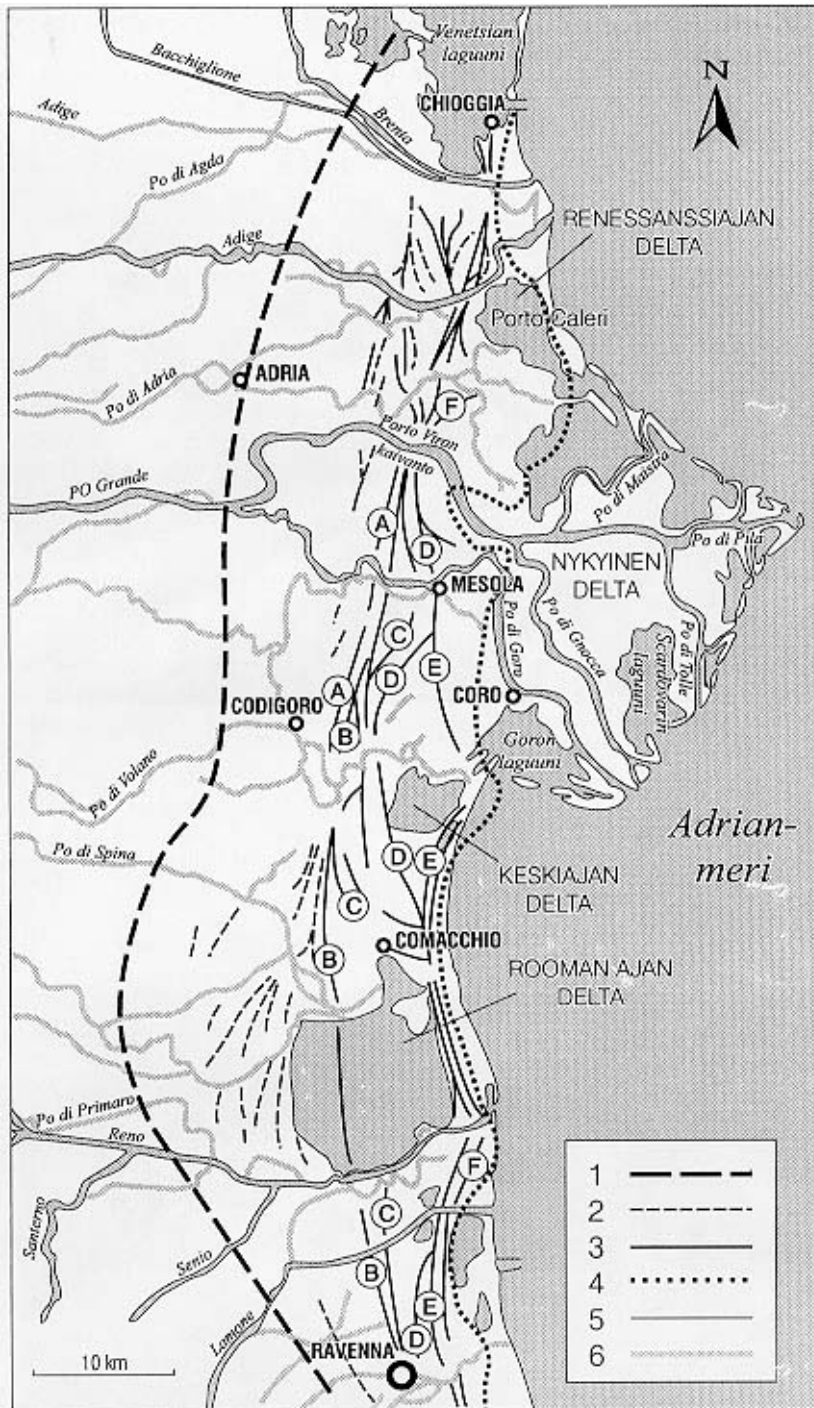


Kuva 1. Pojoen valuma-alue ja tärkeimmät sivuhaarat. Rasteroitua aluetta peittävät jokien tulvamaat. Alue sijaitsee alle sadan metrin korkeudessa.

Jokiuoman vähäinen kaltevuus ja ympäröivän maaston tasaisuus ovat aiheuttaneet sen, että osa Pon kuljettamasta sedimenttikuormasta on kerrostunut uoman pohjalle ja sen varsille tulvavalleiksi. Tämän seurauksena joki pyrkii kohoamaan vähitellen ympäristönsä yläpuolelle, mikä lisää sen tulvaherkkyyttä. Ennen ihmisen rakentamia tulvavallijärjestelmiä Po muutteli kuitenkin uomansa kulkua ja hakeutui aina maaston alavimpaan kohtaan, joten joen pinta ei ehtinyt koskaan nousta kovin paljon maanpinnan yläpuolelle (Bethemont & Pelletier 1983). Keinotekoisien tulvavallien rakentamisen jälkeen joki on pakotettu pysymään uomassaan, minkä vuoksi se virtaa nykyisin suurimman osan juoksustaan selvästi ympäristöönsä ylempänä. Jo Pavian luona, yli 500 kilometrin päässä sisämaassa, Pon vesi on tulvien yhteydessä ympäristön yläpuolella. Suistossa joen pinta voi olla jopa kuusi metriä alavia jokivarsimaita ylempänä, mistä aiheutuu laajoja alueita koskeva tulvauhka.

## Deltan kehitys

Pon kuljettamista sedimenteistä on syntynyt joen suulle laaja suistoalue, jonka läpi joki virtaa mereen useana laskuhaarana. Pohjoisimman ja eteläisimmän laskuhaaran välinen etäisyys on noin 30 kilometriä. Pon nykyisenä deltana pidetään niemimaata, joka sijoittuu etelän Sacca di Goron ja pohjoisen Porto Galerin väliselle alueelle (kuva 2). Koko jääkauden jälkeisellä ajalla syntynyt Pon delta kattaa kuitenkin koko Ravennan ja Venetsian laguunin välisen, 90 kilometriä leveän vyöhykkeen (Bondesan *et alia* 1997). Delta kasvoi aiemmin Adrianmerelle jopa 70 metriä vuodessa, mutta nykyisin kehitys on hidastunut ja paikoitellen kasvu on kokonaan pysähtynyt. Lisäksi myrskyjen nostattama aallokko kuluttaa rantavyöhykettä voimakkaasti siirtäen ainesta sivulle hiekkasärkiksi eli *lidoiksi*, joiden taakse patoutuu laguuneja.



Kuva 2. Pon deltan geomorfologia. 1) rantaviivan todennäköinen sijainti post-glasiaalisen transgressiovaiheen aikana, 2) hautautuneita rantavalleja, 3) näkyvissä olevia ja ajoitettuja rantavalleja: A = 1000 eKr., B = 600-400 eKr., C = 100-200 jKr., D = 500 jKr., E = 1000 jKr., F = 1400 jKr., 4) rantaviiva 1600-luvun lopulla, 5) nykyinen rantaviiva, 6) muinainen jokiuoma (Bondesan 1989).

Pon tasanko sijaitsee Apenniinien ja Alppien välisessä vuorenpöimutukseen liittyvässä painanteessa. Sen pohja on vähitellen vajonnut niin alas, että painannetta peittävien sedimenttien paksuus on keskimäärin yksi kilometri, paikoin jopa kymmenen kilometriä (Bethemont & Pelletier 1983; Bondesan *et alia* 1995). Tasangon jokien kasaamat sedimentit peittävät kauttaaltaan jokivarsien alavat maat. Suiston sijainti on aikojen kuluessa vaihdellut suuresti alueella tapahtuneiden tektonisten muutosten ja

valtamerenpinnan vaihtelun seurauksena. Jokivarren alanko oli vielä plioseenikauden alussa noin viisi miljoonaa vuotta sitten pääosin meren peitossa (Schmieder 1969). Sen sijaan jääkauden aikana, jolloin meren pinta oli parhaimmillaan yli sata metriä nykyistä alempana, Pon suiston ulkoreuna sijaitsi nykyisen Adrianmeren keskivaiheilla (Schmieder 1969; Heide 1982). Adrianmeren pohjoisosan matalan veden alueella onkin noin 300 km pitkä ja 100 km leveä delta, jota voidaan pitää geneettisesti Pon tasangon jatkeena (Castiglioni 1984).

Merensuiston kohottua suunnilleen nykyiselle tasolle on deltan kehityksessä ehtinyt tapahtua suuria muutoksia. Subboreaalikauden lopulla noin 3 000 vuotta sitten Pon suistossa oli kaksi laajaa osaa. Toinen osa oli Venetsian laguunin ja nykyisen suiston välisellä alueella ja siihen toivat sedimenttejä Pon silloiset suuhaarat Po di Adria ja Po di Agna (Veggiani 1974; Castiglioni 1978). Toinen osa sijaitsi nykyisen suiston ja Ravennan välisellä alueella, jonka pääuomia olivat Po di Spina ja Po di Volano (kuva 2). Alueen suurimmat dyynit ja rantavallit ovat syntyneet ajoitusten mukaan subboreaalikauden lopussa (Bondesan *et alia* 1997).

Ajanlaskumme alun jälkeen Po di Agna ja Po di Adria ehtivät vähitellen ja 800-luvulla myös Po di Spinnan veden virtaus tyrehtyi. Ensimmäisen vuosituhannen lopussa tärkeimpiä jokihaaroja olivat Po di Volano ja Po di Primaro (kuva 2). Pon nykyinen päähaara kehittyi tärkeimmäksi 1400-luvulla ja renessanssiaikana joen suulle oli jo syntynyt laaja delta.

Koska venetsialaiset pelkäsivät Pon tuomien sedimenttien sulkevan pääsyn Venetsian laguuniin, suunnattiin uoman kulku Porto Viron kaivannolla kohti kaakkoa. Kaivettu uoma valmistui 1604, minkä jälkeen alkoi nykyisen deltan kehitys. Venetsialaiset sulki kaikki pienet pohjoiseen virtaavat uomat ja osittain myös yhtenä päähaarana vielä 1900-luvun alussa toimineen Po di Maistran (Bondesan *et alia* 1997). Rantaviiva oli 1600-luvun alussa runsaan 20 kilometrin päässä suiston nykyisestä kärjestä (kuva 2).

Deltan kasvaessa yhä kauemmaksi merelle siihen syntyi uusia suuhaaroja. Vuoden 1750 tienoilla alkunsa saanut Po di Gnocca alkoi kasata deltaniemimaata etelään jo aiemmin syntyneen Po di Goron kanssa (kuvat 3 ja 4). Idemmäksi syntyi vuonna 1810 Po di Tollen suuhaara, joka erkaneet deltan nykyiseen kärkeen johtavasta Po della Pilaan haarasta (Bondesan *et alia* 1997). Suuhaarojen kasaamien niemien väliin ovat jääneet Scardovarin ja Goron laguunit.

Pon deltan ja koko itäisen tasangon kehitystä ovat leimanneet meri- ja jokitulvat. Alueelle on syntynyt laajoja kosteikkoja, murtovesilammikoita ja laguuneita, joiden syntyä on edistänyt noin 120 sentin vuorovesivaihtelu. Pääosa kosteikkoalueista on kuitenkin kuivatettu keinotekoisesti vuosien 1870 ja 1970 välisenä aikana. Jäljelle jääneitä kosteikkoja ja lammikoita käytetään nykyisin mm. kalojen kasvatukseen.



Kuva 3. Po di Goron suuhaara vähän ennen laskemistaan mereen. (Valokuvat kirjoittajan, elokuu 1997)

### Alueen ympäristöongelmat

Pon deltaa ja koko rannikkokaistaa hyödynnetään intensiivisesti. Maaperästä pumpataan kaasua ja vettä ja alueella viljellään maata sekä rakennetaan teitä, taajamia ja matkailukeskuksia. Monet ympäristöongelmat aiheutuvat ihmisen toiminnasta, mutta osan taustalla ovat luonnon omat prosessit (Bondesan 1989). Ongelmista keskeisimpiä ovat maan vajoaminen, keinotekoisien tulvavallien rakentamisesta aiheutuvat haitat, joen kuljettaman sedimenttimäärän pieneneminen ja merensuiston kohoaminen.



Kuva 4. Pon kuljettamia ajopuita lomalaisten suosiman suiston ulkoreunalla Po di Goron suulla.

Maa vajoaa alueella sekä luontaisesti että ihmisen toiminnan vaikutuksesta. Laajamittainen kosteikkojen kuivatus ja sen seurauksena suokerrostumien maatumisen sekä pohjaveden käyttö teollisuuden tarpeisiin ja kasteluvedeksi ovat aiheuttaneet maan vajoamista varsinkin Pon alajuoksun varsilla. Kun tähän lisätään vielä maan luontainen vajoaminen, 1-2 mm vuodessa (Bondesan *et alia* 1997), on maa vajonnut laajoilla alueilla merenpinnan alapuolelle. Tämän vuosisadan alkupuolella maa vajosi laajalti jopa seitsemän millimetriä vuodessa (Bondesan *et alia* 1995; Castiglioni *et alia* 1997). Vajoamisen nollaraja sijaitsee Brescian-Piacenzan lähistöllä, mistä länteen maa kohoaa noin millimetrin vuodessa.

Deltan alaosissa maa on nykyisin jopa viisi metriä merenpinnan alapuolella. Merenpinnan alapuolinen alue ulottuu deltan kärjen kohdalta noin 50 kilometriä sisämaahan päin aina Adrian kaupungin länsipuolelle saakka. Etelässä nämä alueet ulottuvat Valli di Comacchion eteläosiin ja pohjoisessa Chioggian kaupungin tuntumaan. Lisäksi laajat alueet Venetsian koillispuolella sijaitsevat nollatasoa alempana (Castiglioni *et alia* 1997). Merenpinnan yläpuolelle maa kohoaa vain uomien varsilla ja aivan deltan kärkiosassa sekä vanhojen rantadyynien kohdalla.



Kuva 5. Suojarakennelmista huolimatta suiston nykyiset rannat kuluvat monin paikoin Lido delle Nazionin pohjoispuolella.

Pon kuljettamien sedimenttien määrä on nykyisin noin kolmanneksen aiempaa pienempi. Tähän ovat syynä vesistöjärjestelyt ja tekoaltaiden rakentaminen sekä soran ja hiekan ruoppaukset uomien pohjalta. Tämä yhdessä maan vajoamisen kanssa on johtanut siihen, että Pon delta on kasvanut 1940-luvun lopulta alkaen merkittävästi vain parin päähaaran suulla (Dal Cin 1983). Muualla on kärsitty lähinnä rannan kulumisesta, jota on pyritty ehkäisemään erilaisin suojarakentein (kuva 5). Toisaalta jokien varsille rakennetut keinotekoiset tulvavallit estävät tulvavesien kuljettamien sedimenttien pääsyn tulvatasangolle, mikä nopeuttaa maanpinnan alenemista jokivarsilla.

Pon delta on erittäin tulvaherkkää aluetta. Tulvien ehkäisemiseksi alue on jaettu poldereiksi ja myös merta vastaan on pystytetty mittavia tulvavalleja. Koska laajat alueet sijaitsevat merenpinnan tason alapuolella, ei vesi poistu niiltä kuin pumppaamalla. Chioggian ja Ravennan väliselle rannikkovyöhykkeelle onkin rakennettu yli sata pumppausasemaa, joiden avulla vettä nostetaan tasankoa korkeammalla virtaaviin kattaviin (Bondesan *et alia* 1997). Yhden aseman teho voi olla jopa 120 m<sup>3</sup>/s, mutta kanavien ja pumppujen teho kuitenkin heikkenee jatkuvasti maan vajotessa (kuva 6).

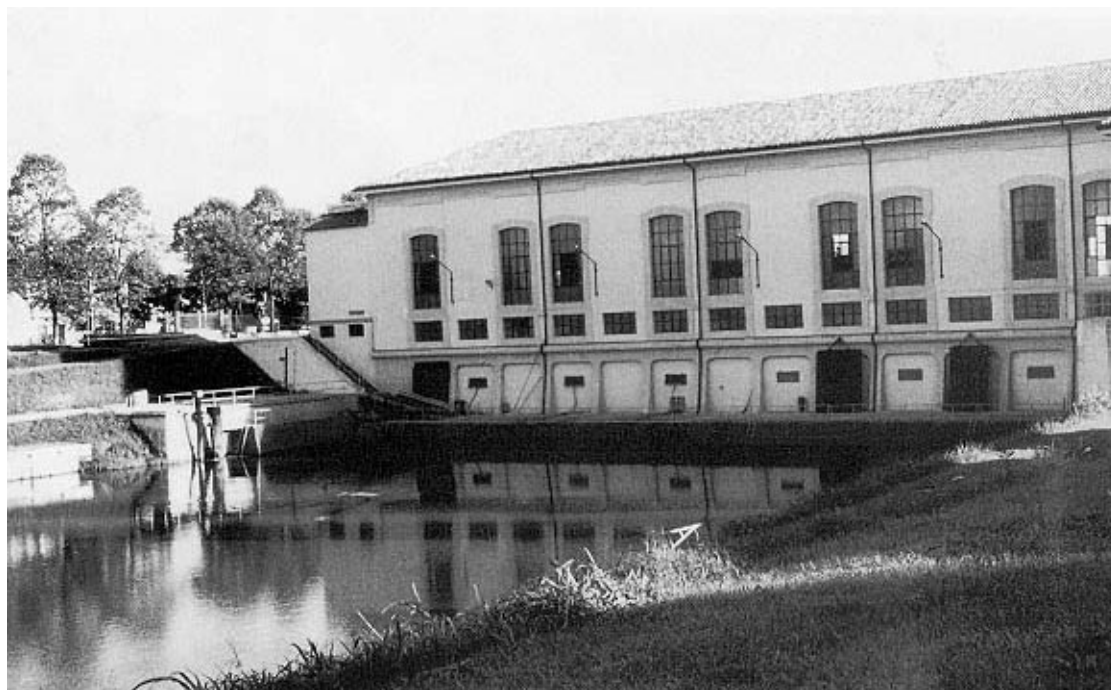
Pon tasangon tulvilta suojaavat rakenteet eivät kuitenkaan ole aina kyenneet estämään tulvimista. Tämän vuosisadan tuhoisin tulva alkoi alueella vuoden 1951 lokakuussa. Tuolloin pitkään jatkuneet rankkasateet yhdessä vuorilta sulaneen lumen kanssa nostattivat Pojoen pintaa niin, että vallit peittivät ja laajoilla tulvan peittämillä alueilla oli vettä paikoin jopa kuusi metriä. Suurtulvassa, joka päättyi vasta seuraavan vuoden keväällä, menehtyi lähes sata ihmistä ja tuhansia kotieläimiä. Taloudelliset vahingot nousivat luonnollisesti korkeiksi.

Vaikka suojarakennuksia on parannettu suurtulvan jälkeen, ei tulvilta ole välttytty myöhemminkään. Alueella oli voimakkaita tulvia vuosina 1966 ja 1990, jolloin suiston eteläreunalla virtaava Renojoki mursi vallinsa. Pahenevana lisäuhkana ovat suolaisen meriveden työntyminen uomia pitkin sisämaahan sekä meriveden suotautuminen rannikkovyöhykkeen pohjavesikerrostumiin (Bondesan *et alia* 1997).

## Lopuksi

Pon delta-alueen ongelmat ovat syntyneet alavien jokivarsien viljelmien raivauksen ja asutuksen leviämisen myötä. Joen luontainen toiminta uomanvaihdoksineen ja usein toistuvine, sedimenttiä jokivarsille kerrostavine tulvineen on estetty keinotekoisesti. Tulvien tuomat sedimentit kompensoivat aiemmin tehokkaasti maan vajoamisesta aiheutuvaa maanpinnan alenemista, jolloin jokisuun sijainti vaihteli noin 70 kilometriä leveällä vyöhykkeellä. Tällöin rantaviiva siirtyi merelle päin taissaisena rintamana. Nykyisin kaikki uomat on pidettävä paikoillaan, sillä myös kasvavan deltan alueella syntyvät maat otetaan heti hyötykäyttöön.

Nykyinen, noin neljän vuosisadan kuluessa syntynyt delta kasvoi aluksi kiihtyvällä vauhdilla.



Kuva 6. Codigoron pumppaamo Po di Volanon alajuoksulla.

Tähän oli syynä eroosion voimistuminen, joka puolestaan oli seurausta peltojen raivauksesta ja metsien hakkuista valuma-alueen mäki- ja vuoristoseuduilla. Lisäksi jokien varsille rakennettiin vähitellen yhä täydellisempi tulvavallijärjestelmä, joka esti sedimenttien kerrostumisen tulvien yhteydessä jokivarsille. Tilanne on kuitenkin muuttunut erityisesti viimeisten 50 vuoden aikana. Pon delta kasvaa nykyisin vain Po della Pilan ja Po di Goron suuhaarojen edustoilla. Muualla kasvu on pysähtynyt ja

paikoin rantaviiva on siirtynyt jopa 500 metriä sisämaahan (Castiglioni 1984). Tähän ovat syynä maanvajoaminen, merenpinnan nousu sekä ennen muuta joen tuomien sedimenttimäärien väheneminen.

Koska merenpinnan alapuolelle vajonneet alueet eivät saa enää tulvien tuomaa sedimenttilisää, maan jatkuva vajoaminen pahentaa tulvariskiä ja vaikeuttaa maan kuivatusta. Jokivarsien suojapenkereitä joudutaan myös aika ajoin korottamaan. Lisäksi maankäytön muutokset, kuten metsäalueiden supistuminen, kanavointi ja rakennettujen alueiden lisääntyminen sekä merenpinnan hidaskohoaminen pahentavat osaltaan suistoalueen tulvariskiä. Oman ongelmansa muodostavat suiston hiekkarannoille levittäytyneet lomakeskukset, joiden uimarannoille pystytetyt keinotekoiset rakenteet estävät materiaalin normaalin liikkeen ja kuluttavat rantoja monin paikoin.

## KIRJALLISUUS

Bethemont, J. & J. Pelletier (1983). Italy - a geographical introduction. 222 s. Longman, London.

Bondesan, M. (1989). Geomorphological hazards in the Po delta and adjacent areas. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Suplementi 2*, 25-33.

Bondesan, M., G. B. Castiglioni, C. Elmi, G. Gabbianelli, R. Marocco, P. A. Pirazzoli & A. Tomasin (1995). Elevation of the low Po and Veneto-Friuli plains. *Journal of Coastal Research* 11: 4.

Bondesan, M., C. Cantelli & G. Mazzeo (1997). Fluvial and littoral geomorphology and ecology in the Po delta. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Suplementi III: 2*, 215-218.

Castiglioni, G. B. (1978). Il ramo piu settentrionale del Po nell'antichita. *Atti Mem. Acc. Patav. Sc. Lett. Atri* 90,157-164.

Castiglioni, G. B. (1984). Po Plain. Teoksessa Embleton, C. (toim.): *Geomorphology of Europe*, 253-260. Macmillan, London.

Castiglioni, G. B., A. Bondesan, M. Bondesan, M. Gatti & P. Russo (1997). *Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo della pianura padana (1:250 000)*. Societa Elaborazioni Cartografiche, Firenze.

Dal Cin, R. (1983). I litorali del delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta: caratteri tessiturali e dispersione dei sedimenti, cause dell'arretramento e previsioni sull'evoluzione futura. *Bollettino Societa Geologica Italiana* 102, 9-56.

Heide, H. van der (1982). Enkele fysisch-geografische aspecten van Italie. *K.N.A.G. Geografisch tijdschrift* XVI: 5, 479-491.

Italy I (1944). *Geographical Handbook series*, B. R. 517. 595 s. Naval Intelligence Division.

Peltonen, Arvo & Matti Tikkanen (1983). Italia - maantieteellisiä huomioita. *Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen opetusmonisteita* 26. 132 s.

Schmieder, O. (1969). *Die alte Welt. Anatolien und Mittelmeerlander Europas*. 613 s. Schmidt & Klannig, Kiel.

Veggiani, A. (1974). Le variazioni idrografiche del basso corso del Po negli ultimi 3000 anni. *Padusa* 1-2, 39-60.